



**PERILAKU TANAH LEMPUNG EKSPANSIF
KARANGAWEN DEMAK AKIBAT PENAMBAHAN
SEMEN DAN FLY ASH SEBAGAI STABILIZING AGENTS**

TESIS

**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

**Oleh
Endang Widorowati Hartosukma
NIM. L4A 001 030**

PROGRAM PASCA SARJANA

**UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2005**

PERILAKU TANAH LEMPUNG EKSPANSIF KARANGAWEN DEMAK AKIBAT PENAMBAHAN SEMEN DAN FLY ASH SEBAGAI STABILIZING AGENTS

Disusun Oleh

Endang Widorowati Hartosukma

NIM : L4A.001.029

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :
18 Januari 2005

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji :

1. Dr. Ir. Sri Prabandiyani, MSc, MIEAust, CPEng (Ketua)
2. Ir. Djoko Purwanto, MS (Sekretaris)
3. Drs. Bagus Priyatno, ST, MT (Anggota 1)
4. Ir. Muhrozi, MS (Anggota 2)
5. Ir. Siti Hardiyanti, MT (Anggota 3)

[Handwritten signatures of the examination committee members]

Semarang, Januari 2005

UPT-PUSTAK-UNDIP	
No. Daft:	2831/T/MTD/c
Tgl.	23 Jan 05

Universitas Diponegoro
Program Pascasarjana
Magister Teknik Sipil



Ketua

[Signature]
Dr. Ir. Suripin, M. Eng
NIP. 131 668 511

ABSTRAK

Penggunaan semen dan *fly ash* sebagai *stabilizing agents* pada konstruksi jalan sudah mulai banyak digunakan terutama pada tanah ekspansif. Penggunaan *stabilizing agents* diharapkan dapat mengurangi masalah *shrinkage* dan *cracking problem* pada konstruksi jalan.

Tesis ini berisi kajian hasil laboratorium mengenai uji fisik dan mekanik tanah yang telah diberi *stabilizing agents*. Hasil yang didapat kemudian akan dibandingkan dengan hasil laboratorium dari tanah asli.

Sample tanah diambil dari Karangawen Kabupaten Demak. Dari uji analisa mineral dengan metode x-ray dapat dilihat bahwa lempung Karangawen Demak mengandung mineral Halloysite yang dapat mengakibatkan tanah dalam keadaan basah akan mengalami *swelling*. Sedangkan kandungan mineral Montmorillonite menunjukkan bahwa lempung Karangawen bersifat ekspansif.

Penelitian dilakukan pada tiga kombinasi tanah, semen dan *fly ash* dengan variasi waktu pemeraman 0, 4 dan 7 hari. Prosentase penambahan *stabilizing agents* adalah 2%PC + 2%FA, 2%PC + 4%FA dan 2%PC + 6%FA. Dari uji Atterberg Limit dapat dilihat bahwa bertambahnya jumlah prosentasi *fly ash* pada campuran akan menurunkan nilai *plasticity indeks*. Pada uji UCS tanah dengan campuran semen dan *fly ash* akan mengalami kenaikan *qu* seiring dengan bertambahnya prosentase *fly ash* dan waktu pemeraman.

Waktu pemeraman pada uji *potential swelling* dan *swell pressure* akan berpengaruh menaikkan nilai *potential swelling* dan *swell pressure*. Sedangkan bertambahnya nilai prosentase *fly ash* akan cenderung menurunkan nilai *swelling potential* dan *swell pressure*. Pada uji Triaxial baik UU maupun CU bertambahnya prosentase *fly ash* akan menaikkan nilai kohesi dan sudut geser. Sedangkan bertambahnya waktu pemeraman akan berpengaruh menaikkan nilai kohesi dan sudut geser baik pada uji Triaxial UU maupun pada uji Triaxial CU.

Dengan adanya penambahan *stabilizing agents* dapat memperbaiki sifat fisik dan sifat mekanik. Sedangkan dari semua pengujian yang dilaksanakan maka dapat dilihat bahwa waktu pemeraman yang terbaik didapat pada pemeraman 4 hari.

ABSTRACT

Cement and fly ash as stabilizing agents have been practiced for highway construction especially for expansive soil. Stabilizing agents used to decrease the shrinkage and cracking problem in highway construction.

This thesis describes a laboratory result of physic and mechanic investigation soil get stabilizing agents. The result for investigation will be compare with natural soil.

The soil sample was taken from Karangawen, Demak Regency. From mineralogy investigation with x-ray method indicated if lempung Karangawen contain halloysite mineral in which case the effects of mineral make wet soil will be swell. Even though montmorillonite indicated if Karangawen clay to have expansive charater.

The investigation was done on three combinations of soil cement and fly ash mixture with 0, 4 and 7 curing time. The combinations stabilizing agents are 2%PC + 2% FA, 2%PC + 4%FA and 2%PC + 6%FA. From Atterberg Limit investigation found on high fly ash precentage decreased Plasticity Index value. The UCS investigation found that the strength of soil with stabilizing agents increased as the percentage fly ash and curing time increased.

The curing time in potential swelling and swell pressure investigations to have influence potential swelling value and swell pressure value increased. Even through that potential swelling value and swell pressure value decreased as the percentage fly ash is increased. In Triaxial investigations that cohesive value and axial value increased as the percentage fly ash increased. Even through that cohesive value and axial value increased as the curing time increased.

With stabilizing agents to blending in natural soil reduce physic and mechanic characteristic. From all combination in this investigation provides the best curing time are 4 day.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini, yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Strata-2 Teknik Sipil, Universitas Diponegoro Semarang.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini jauh dari sempurna, mengingat terbatasnya waktu, dana, dan keterbatasan lainnya. Karena itu saran dan kritik sangat diharapkan demi kesempurnaan tulisan ini.

Pada kesempatan ini perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih tak terhingga kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Sri Prabandiyani, MSc, MIEAust, CPeng, selaku pembimbing dalam penyusunan Tesis ini yang telah memberikan banyak masukan dan saran yang sangat berharga dan selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Diponegoro Semarang yang telah memberikan fasilitas penggunaan peralatan laboratorium.
2. Bapak Ir. Djoko Purwanto, MS, selaku pembimbing dalam penyusunan Tesis ini yang telah memberikan banyak masukan dan saran yang sangat berharga.
3. Bapak Drs. Bagus Priyatno, ST, MT, selaku penguji yang telah memberikan masukan dan saran demi lebih baiknya penulisan Tesis ini.
4. Bapak Ir. Muhrozi, MS, selaku penguji yang telah memberikan masukan dan saran demi lebih baiknya penulisan Tesis ini.
5. Ibu Ir. Siti Hardiyati, MT, selaku penguji yang telah memberikan masukan dan saran demi lebih baiknya penulisan Tesis ini.

6. Ketua dan Sekretaris Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang yang telah memberikan banyak bantuan dalam menyelesaikan Tesis.
7. Seluruh staf Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Diponegoro Semarang, yang telah membantu selama penelitian berlangsung.
8. Staf Sekretariat Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang, yang telah banyak membantu selama masa perkuliahan dan penelitian.
9. Mamaku tersayang dan suamiku tercinta atas segala pengorbanan, doa dan dukungannya.

Akhirnya penulis berharap Tesis ini dapat berguna dan menjadi pelengkap penelitian perilaku tanah ekspansif dengan semen dan fly ash sebagai stabilizing agents.

Semarang, Januari 2005

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	x
 BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Maksud Dan Tujuan.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Sistematika Penulisan.....	4
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Stabilisasi Tanah.....	6
2.2. Daya Dukung Tanah.....	9
2.3. Bahan-Bahan Yang Digunakan.....	10
2.3.1 Tanah Lempung Ekspansif.....	10
2.3.2 Semen.....	16
2.3.3 Fly Ash.....	19
2.4. Stabilisasi Tanah Dengan Semen Dan Fly Ash...	20
2.5. Penelitian-Penelitian Yang Telah Ada.....	22
2.6. Hipotesis.....	22
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Program.....	24
3.2. Pekerjaan Persiapan.....	24
3.3. Pekerjaan Laboratorium.....	27
3.3.1. Uji Pendahuluan.....	27
3.3.2. Uji Sifat Fisik Tanah.....	27
3.3.3. Uji Sifat Mekanis Tanah.....	29
3.3.4. Kombinasi Campuran.....	33

3.3.5. Pencampuran Tanah Dengan Semen Dan Fly Ash.....	34
3.3.6. Perhitungan Jumlah Sample Yang Diperlukan Untuk Program Pengujian.....	35

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

4.1. Identifikasi Tanah Lempung Karangawen.....	41
4.1.1. Komposisi Kimia Dan Mineral.....	41
4.1.2. Uji Sifat Fisik Lempung Karangawen Demak.....	43
4.1.3. Identifikasi Sifat Ekspansif Lempung Karangawen Demak.....	45
4.1.4. Sifat Mekanis Lempung Karangawen Demak.....	47
4.2. Hasil Pengujian Fly Ash.....	52
4.3. Pengaruh Semen Dan Fly Ash Terhadap Sifat Fisik Lempung Karangawen Demak.....	53
4.3.1. Pengaruh Semen Dan Fly Ash Terhadap Nilai Batas Atterberg.....	53
4.3.2. Pengaruh Semen Dan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Bebas.....	57
4.3.3. Pengaruh Semen Dan Fly Ash Terhadap Kemampuan Mengembang.....	59
4.3.4. Pengaruh Semen Dan Fly Ash Terhadap Tekanan Mengembang.....	63
4.3.5. Pengaruh Semen Dan Fly Ash Terhadap Nilai Kohesi Dan Sudut Geser.....	67
4.3.6. Pengaruh Semen Dan Fly Ash Terhadap Distribusi Ukuran butir.....	74

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan 76

5.2. Saran.....77

DAFTAR PUSTAKA..... 78**LAMPIRAN-LAMPIRAN.....81**

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
2.1.	Hubungan aktifitas dan kandungan mineral.....	12
2.2.	Klasifikasi tanah ekspansif berdasarkan colloid.....	13
2.3.	Klasifikasi tanah ekspansif berdasarkan persen lolos saringan No. 200 dan batas cair.....	13
2.4.	Klasifikasi tanah ekspansif berdasarkan batas susut.....	13
2.5.	Kriteria tanah ekspansif berdasarkan linear shrinkage dan shrinkage limit.....	15
2.6.	Kriteria tanah ekspansif berdasarkan IP dan SL.....	15
2.7.	Kriteria pengembangan berdasarkan IP.....	16
2.8.	Persyaratan standart kondisi kimia portland cement.....	18
3.1.	Jumlah sample campuran tanah dengan semen dan fly ash untuk pengujian batas atterberg.....	36
3.2.	Jumlah sample campuran tanah dengan semen dan fly ash untuk pengujian kuat tekan bebas.....	37
3.3.	Jumlah sample campuran tanah dengan semen dan fly ash untuk pengujian swelling.....	37
3.4.	Jumlah sample campuran tanah dengan semen dan fly ash untuk pengujian triaxial UU.....	37
3.5.	Jumlah sample campuran tanah dengan semen dan fly ash untuk pengujian triaxial CU.....	38
3.6.	Jumlah sample, metode pengujian dan laboratorium pelaksana.....	39
4.1.	Hasil pengujian analisa kimia tanah lempung dengan Metode X-Ray.....	41
4.2.	Hasil pengujian analisa mineral tanah lempung dengan metode X-Ray.....	42
4.3.	Hasil pengujian analisa kimia tanah lempung dengan Metode CEC.....	43

4.4.	Data fisik lempung Karangawen Demak.....	44
4.5.	Hasil pengujian kuat tekan bebas pada tanah lempung Karangawen.....	48
4.6.	Nilai swell potential, kadar air, angka pori dan density pada tanah asli.....	50
4.7.	Nilai swell pressure, kadar air, angka pori dan density pada tanah asli.....	51
4.8.	Hasil uji komposisi kimia fly ash.....	52
4.9.	Hasil pengujian batas-batas Atterberg pada tanah lempung Karangawen.....	55
4.10.	Persentase pengurangan LL dan PI pada waktu peram 0 hari.....	56
4.11.	Persentase pengurangan LL dan PI pada waktu peram 4 hari.....	56
4.12.	Persentase pengurangan LL dan PI pada waktu peram 7 hari.....	56
4.13.	Nilai kuat tekan bebas tanah campur semen dan fly ash.....	57
4.14.	Persentase pengurangan nilai kuat tekan bebas.....	58
4.15.	Nilai kemampuan mengembang tanah campur semen dan fly ash.....	60
4.16.	Persentase pengurangan nilai kemampuan mengembang.....	62
4.17.	Nilai swell potential, kadar air, angka pori dan density	63
4.18.	Nilai tekanan mengembang tanah campur semen dan fly ash.....	64
4.19.	Nilai swell pressure, kadar air, angka pori dan density.....	65
4.20.	Persentase pengurangan nilai tekanan mengembang.....	66

4.21. Nilai kohesi tanah campur semen dan fly ash pada uji Triaxial UU.....	67
4.22. Nilai sudut geser tanah campur semen dan fly ash pada uji Triaxial UU	68
4.23. Nilai kohesi, sudut geser, kadar air, angka pori dan density pada pengujian Triaxial UU.....	69
4.24. Nilai kohesi tanah campur semen dan fly ash pada uji Triaxial CU	70
4.25. Nilai sudut geser tanah campur semen dan fly ash pada uji Triaxial UU	71
4.26. Nilai kohesi, sudut geser, kadar air, angka pori dan density pada pengujian Triaxial CU.....	72
4.27. Distribusi ukuran butir tanah campur semen dan fly ash.....	74

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
2.1.	Rangkaian dasar oktahedral dan tetrahedral.....	11
2.2.	Grafik klasifikasi pada tanah lempung.....	16
3.1	Diagram alir penelitian.....	26
4.1	Grafik distribusi hasil uji hidrometer dan analisa saringan	44
4.2.	Kurva hasil pemadatan lempung Karangawen-Demak.....	47
4.3.	Grafik nilai kuat tekan bebas lempung Karangawen Demak.....	48
4.4.	Grafik potensi mengembang lempung Karangawen Demak.....	49
4.5.	Grafik tekanan mengembang lempung Karangawen Demak.....	51
4.6.	Grafik hubungan antara LL dengan variasi komposisi PC dan FA pada waktu pemeraman yang berbeda.....	53
4.7.	Grafik hubungan antara IP dengan variasi komposisi PC dan FA pada waktu pemeraman yang berbeda.....	54
4.8.	Grafik hubungan antara qu dengan variasi komposisi PC dan FA pada waktu pemeraman yang berbeda.....	59
4.9.	Grafik hubungan antara potential swelling dengan variasi komposisi PC dan FA pada waktu pemeraman yang berbeda.....	61
4.10.	Grafik hubungan antara swell pressure dengan variasi Komposisi PC dan FA pada waktu pemeraman yang berbeda.....	66
4.11.	Grafik hubungan antara kohesi pada uji Triaxial UU dengan variasi komposisi PC dan FA pada waktu pemeraman yang berbeda.....	69

- 4.12. Grafik hubungan antara sudut geser pada uji
Triaxial UU dengan variasi komposisi PC dan FA
pada waktu pemeraman yang berbeda..... 70
- 4.13. Grafik hubungan antara kohesi pada uji
Triaxial CU dengan variasi komposisi PC dan FA
pada waktu pemeraman yang berbeda..... 73
- 4.14. Grafik hubungan antara sudut geser pada uji
Triaxial CU dengan variasi komposisi PC dan FA
pada waktu pemeraman yang berbeda..... 73
- 4.15. Grafik hubungan antara prosentasi fraksi lempung
dengan variasi komposisi PC dan FA pada waktu
pemeraman yang berbeda..... 75

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	: American Society For Testing and Materials
Ac	: Activity
C	: Persentase Fraksi Lempung
CBR	: California Bearing Ratio
CEC	: Cation Exchange Capacity
CU	: Consolidated Undrained
°	: Degree
DCP	: Dynamic Cone Penetrometer
FA	: Fly Ash
ε	: Regangan Axial
G _s	: Specific Gravity
LL	: Liquid Limit
OMC	: Optimum Moisture Content
PC	: Portland Cement
PI	: Plasticity Index
PL	: Plastic Limit
q	: Daya Dukung Tanah
Q _u	: Kuat Tekan Bebas
SL	: Shrinkage Limit
SNI	: Standar Nasional Indonesia
UCS	: Unconfined Compressive Strength
UU	: Unconfined Undrained

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Suatu konstruksi baik jalan, gedung maupun konstruksi lainnya akan dapat bertahan lama jika didukung oleh tanah dasar yang baik. Jika tanah setempat tidak memiliki daya dukung yang baik dan untuk mengambil tanah dari luar daerah memerlukan biaya yang mahal dan tidak efisien, maka upaya yang dapat dilakukan adalah dengan mencampur tanah dasar yang telah ada dengan bahan tambahan yang dinamakan "*stabilizing agent*" yang mempunyai sifat-sifat khusus yang dapat membantu mendapatkan sifat tanah dasar yang diinginkan.

Tanah dengan daya dukung rendah sering ditemui pada jenis tanah lunak, sehingga tanah lunak sering tidak dapat menahan beban perkerasan jalan yang ada di atasnya. Tanah lunak mempunyai kandungan lempung dan plastisitas yang cukup tinggi sehingga biasanya sangat sulit dicampur dan memerlukan jumlah *stabilizing agents* yang tinggi untuk perubahan yang berarti pada sifat-sifat dasar tanah tersebut.

Kerusakan-kerusakan pada konstruksi jalan sering juga ditemukan di daerah yang mempunyai tanah dasar dengan kemampuan kembang susut yang cukup tinggi atau yang sering disebut dengan tanah ekspansif. Tanah ekspansif ini mempunyai sifat-sifat yang sangat berbeda dengan jenis tanah lainnya. Istilah ekspansif digunakan pada tanah yang mempunyai sifat mudah mengembang jika mengalami kenaikan kadar air. Sifat mudah mengembang ini disebabkan karena tanah ekspansif mengandung jenis mineral-mineral tertentu yang mengakibatkan tanah ekspansif mempunyai luas permukaan cukup besar dan sangat mudah menyerap air dalam jumlah besar. Apabila suatu konstruksi

dibangun diatas tanah ekspansif maka kerusakan-kerusakan dapat terjadi antara lain : retakan (*cracking*), pada perkerasan jalan dan jembatan, terangkatnya struktur plat dan kerusakan jaringan pipa.

Di daerah Jawa Tengah lokasi tanah ekspansif dapat ditemukan di Godong, Purwodadi dan Karangawen, Demak. Penelitian ini mengambil lokasi di daerah Karangawen yang terletak di Kabupaten, Demak. Dalam kondisi tanah dasar yang natural, bahan tanah di Karangawen ini dianggap tidak sesuai untuk digunakan sebagai tanah dasar atau *subgrade* ataupun untuk lapis pondasi bawah pada konstruksi perkerasan jalan, hal tersebut karena tanah di daerah tersebut diperkirakan merupakan tanah lempung ekspansif. Sehingga konstruksi jalan disana sering terjadi kerusakan, yang antara lain adalah konstruksi jalan yang bergelombang. Perbaikan-perbaikan yang telah dilakukan selama ini dilakukan dengan cara melakukan *overlay* diatas konstruksi jalan yang mengalami kerusakan. Namun hal tersebut tidak dapat memecahkan masalah yang ada karena dengan *overlay*, konstruksi jalan yang diperbaiki hanya dibagian atasnya saja, sedangkan masalah yang ada sebenarnya ada pada tanah dasarnya.

Untuk mengatasi kerusakan konstruksi yang disebabkan oleh tanah ekspansif dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain adalah *compaction*, pra pembebanan, perbaikan drainase, pemadatan dengan menggunakan peralatan bergetar, stabilisasi kimia, stabilisasi mekanik, dan lain-lain. Dalam penelitian ini stabilisasi tanah dasar dilakukan dengan mencampur tanah asli (*natural*) menggunakan campuran semen dan *fly ash*.

1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengamati dan mempelajari pengaruh campuran semen dan *fly ash* dengan komposisi dan waktu pemeraman tertentu terhadap tanah ekspansif

daerah Karangawen, Demak sehingga diperoleh gambaran perubahan sifat-sifat fisik dan mekanik *yang* akan terjadi dari tanah aslinya.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Melakukan pengujian terhadap tanah dasar natural maupun terhadap tanah dasar yang telah diberi campuran semen dan *fly ash* sehingga dapat diketahui adanya peningkatan kekuatan tanah dasar setelah diberi *stabilizing agents*.
2. Untuk mengevaluasi batas-batas Atterberg baik pada tanah dasar natural maupun terhadap tanah dasar yang telah diberi *stabilizing agents*.
3. Untuk menentukan besarnya perubahan-perubahan pada sifat fisik maupun sifat mekanik tanah tersebut karena adanya perubahan jumlah komposisi semen dan *fly ash* yang bervariasi.
4. Untuk mengevaluasi pengaruh waktu pemeraman terhadap kekuatan tanah.

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini kajiannya terbatas pada seberapa besar kadar semen dan fly ash optimum serta lama pemeraman yang optimum dalam stabilisasi tanah ekspansif.

Penelitian ini dibatasi dengan hal-hal berikut :

1. Jenis tanah yang dipakai adalah tanah lempung ekspansif berasal dari daerah Karangawen KM.20, Kabupaten Demak.
2. Penelitian ini meliputi pengujian laboratorium untuk menentukan karakteristik tanah dasar dari Karangawen Demak, dalam kondisi naturalnya dan ketika telah dicampur dengan *stabilizing agents* yang dalam hal ini semen dan *fly ash*.
3. Metode pengujian tanah dan campuran tanah-semen-*fly ash* secara umum menggunakan standar American Society for Testing Materials (ASTM) Standard on Soil Stabilization With Admixture

- (1992). Metode standar lainnya seperti AASHTO dan SNI digunakan bila metode yang sesuai dalam ASTM tidak tersedia.
4. Bahan stabilisasi terdiri dari *Portland Cement* (PC) dan *fly ash* dengan kadar 2%(PC)+2%(FA), 2%(PC)+4%(FA) dan 2%(PC)+6%(FA) terhadap berat kering tanah.
 5. Lama pemeraman setelah tanah dicampur dengan semen dan fly ash untuk pengujian batas Atterberg adalah 0 hari, 4 hari dan 7 hari, sedangkan pengujian kuat tekan bebas, pengujian Triaxial (UU dan CU), pengujian *potential swelling* dan pengujian *swell pressure* lama pemeraman adalah 4 hari dan 7 hari dengan temperatur pemeraman sampel tanah pada temperatur ruang.
 6. Pengujian dilakukan dibatasi dengan pengujian kimia dan mineralogi terhadap tanah asli (natural), pengujian berat jenis, pengujian batas Atterberg, pengujian pemadatan, pengujian kuat tekan bebas, pengujian Triaxial (UU dan CU), pengujian *potential swelling* dan *swell pressure*.

1.4. Sistematika Penulisan

Penulisan hasil penelitian memiliki sistematika sebagai berikut :

Bab I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, maksud dan tujuan, batasan masalah dan hipotesis.

Bab II TINJAUAN MASALAH

Berisi tentang stabilisasi tanah, bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian.

Bab III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang program kerja penelitian dan pekerjaan laboratorium yang akan dilakukan dalam penelitian.

Bab IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

Berisi identifikasi tanah lempung Karangawen, hasil pengujian fly ash dan pengaruh semen dan fly pada sifat fisik tanah.

Bab V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu cara yang digunakan untuk mengubah atau memperbaiki sifat tanah dasar sehingga diharapkan tanah dasar tersebut mutunya dapat lebih baik. Hal tersebut dimaksudkan juga untuk dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dasar terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya.

Ada beberapa metode stabilisasi tanah yang biasanya digunakan dalam upaya untuk memperbaiki mutu tanah dasar yang kurang baik mutunya. Metode tersebut antara lain yaitu stabilisasi mekanik. Stabilisasi mekanik ini dimaksudkan untuk mendapatkan tanah yang bergradasi baik (*well graded*) sehingga tanah dasar tersebut dapat memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Stabilisasi dengan cara mekanik ini biasanya dilakukan dengan cara mencampur berbagai jenis tanah, namun yang perlu diingat adalah tanah yang diambil untuk campuran haruslah yang lokasinya berdekatan sehingga ekonomis. Gradasi dari campuran tanah tersebut harus sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Sedangkan metode stabilisasi tanah yang biasa juga digunakan adalah stabilisasi kimiawi. Stabilisasi kimiawi ini dilakukan dengan cara menambahkan *stabilizing agents* pada tanah dasar yang akan ditingkatkan mutunya. *Stabilizing agents* ini antara lain adalah *portland cement* (PC), *lime*, *bitumen*, *fly ash* dan lain-lain. Stabilisasi tanah dapat juga dilakukan dengan beberapa cara pemadatan atau pemampatan di lapangan, perbaikan dengan cara perkuatan yaitu dengan pemasangan bahan lain pada lapisan tanah (seperti *geotekstil*), perbaikan permukaan tanah dengan menggunakan drainase, pencampuran lapisan dalam dan dengan cara

penurunan air tanah yaitu dilakukan dengan cara menurunkan air tanah dengan pemompaan.

Berdasarkan sistem klasifikasi dapat dibedakan adanya jenis tanah berbutir halus yang disebut lempung. Lempung ini diklasifikasikan dengan tanah yang semua butirannya mempunyai ukuran 2 mikron. Tanah lempung tersebut dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis tergantung pada komposisi serta mineral pembentuk butirannya. ditinjau dari mineral pembentuk butirannya lempung dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu lempung non ekspansif dan lempung ekspansif. Lempung non ekspansif yaitu lempung yang butirannya terbentuk dari mineral non ekspansif. Sedangkan lempung ekspansif adalah lempung yang butirannya terbentuk oleh mineral ekspansif.

Untuk tanah yang termasuk ke dalam jenis tanah ekspansif beberapa cara stabilisasi yang dapat dipergunakan antara lain adalah:

1. *Removal dan Replacement*

Metode ini dilakukan dengan cara mencampur tanah ekspansif dengan tanah non ekspansif, diharapkan dengan mencampur kedua jenis tanah ini dapat memperbaiki sifat dari tanah ekspansif. Tinggi dari timbunan tanah non ekspansif harus tepat agar didapat kekuatan yang diinginkan. Tidak ada petunjuk yang tepat berapa tinggi timbunan tanah tersebut tetapi Chen (1988) merekomendasikan antara 1 m sampai dengan 1,3 m.

Keuntungan dari metode ini adalah :

- Tanah non ekspansif yang dicampurkan mempunyai sifat *density* yang lebih besar dan daya dukung besar sehingga dapat memperbaiki tanah ekspansif yang mempunyai nilai *density* yang rendah.

- Biaya dari metode ini lebih ekonomis dari metode stabilisasi tanah ekspansif lainnya, karena metode ini tidak membutuhkan peralatan konstruksi yang mahal.

Kerugian dari metode ini adalah :

- Ketebalan dari tanah ekspansif yang telah dicampur dengan tanah non ekspansif akan menjadi lebih tebal sehingga memungkinkan tidak sesuai dengan ketebalan yang telah ditentukan.

2. *Remolding dan Compaction*

Swelling potential dari tanah ekspansif dapat diperbaiki dengan cara merubah nilai *density* tanah tersebut (Holtz, 1959). Metode ini menunjukkan bahwa pemadatan pada nilai *density* yang rendah dan pada kadar air dibawah kadar optimum yang terlihat pada test *Standart Proctor* dapat mengakibatkan lebih sedikit *swelling potential* dari pada pemadatan pada nilai *density* yang tinggi dan kadar air yang lebih rendah.

3. *Chemical Admixtures*

a. Stabilisasi tanah dengan kapur

Stabilisasi tanah dengan kapur telah banyak digunakan pada proyek-proyek jalan di banyak negara. Untuk hasil optimum kapur yang digunakan biasanya antara 3% sampai dengan 7%. Thomson (1968) menemukan bahwa dengan kadar kapur antara 5% sampai dengan 7% akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar daripada kadar kapur 3%.

b. Stabilisasi tanah dengan semen

Hasil yang didapat dengan stabilisasi tanah dengan semen hampir sama dengan stabilisasi tanah dengan kapur. Menurut Chen (1988) dengan menambahkan semen pada tanah akan dapat meningkatkan *shrinkage limit* dan *shear strength*.

c. Stabilisasi tanah dengan *fly ash*

Fly ash dapat juga dipergunakan sebagai *stabilizing agents* karena apabila dicampur dengan tanah akan terjadi reaksi *pozzolonic*. Pada tanah lunak kapur yang akan dicampur fly ash dengan perbandingan 1 banding 2 terbukti dapat meningkatkan daya dukung tanah (Woods et.al., 1960).

2.2. Daya Dukung Tanah

Suatu tanah yang akan dibangun konstruksi diatasnya diharuskan mempunyai nilai daya dukung tanah yang besar. Hal tersebut dimaksudkan agar kekuatan tanah yang ada tidak terlampaui oleh beban yang ada diatasnya. Apabila kekuatan tanah terlampaui maka penurunan yang berlebihan atau adanya keruntuhan tanah sehingga dapat menyebabkan kerusakan konstruksi yang ada diatasnya.

Untuk tanah lempung pembuatan konstruksi diatasnya akan selalu menimbulkan tegangan pori. Biasanya waktu yang diperlukan untuk penyusutan tegangan pori jauh lebih lama daripada waktu yang diperlukan untuk mendirikan konstruksi diatas lapisan lempung tersebut. Hal ini berarti bahwa kekuatan geser tanah lempung tidak akan banyak mengalami perubahan selama masa pembangunan konstruksi tersebut.

Nilai daya dukung tanah didapat dari hasil CBR baik dari pengujian lapangan maupun hasil pengujian laboratorium. Untuk lapisan tanah dasar asli nilai CBR didapat dari uji lapangan dengan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) atau dengan alat sondir. Dapat juga dilakukan pengujian di laboratorium dengan cara pengambilan contoh tanah dengan silinder (*mold*).

Daya dukung tanah asli (lempung lunak) dibawah timbunan dapat dianalisa dengan rumus Terzaghi (1943).

$$q_{ult} = q' + q''$$

Keterangan :

q' : porsi daya dukung yang diasumsikan tanpa berat tanah pondasi

q'' : porsi daya dukung dari berat tanah pondasi

2.3. Bahan-Bahan Yang Digunakan

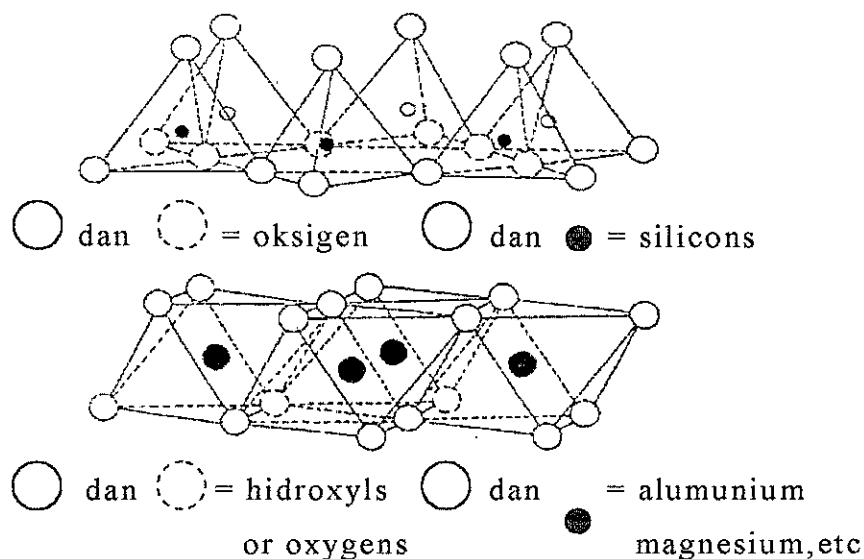
2.3.1. Tanah Lempung Ekspansif

Beberapa pendapat para peneliti mengenai definisi dari tanah lempung yaitu antara lain :

- a. Das (1995), mengatakan bahwa tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada keadaan air lebih tinggi lempung bersifat lengket (*kohesif*) dan sangat lunak.
- b. Grim (1962), mendefinisikan tanah lempung sebagai tanah yang terdiri dari partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat plastis apabila dalam kondisi basah.
- c. Bowles (1986), mendefinisikan tanah lempung sebagai deposit yang mempunyai partikel berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari limapuluh persen.
- d. Hardiyatmo (1992), mengatakan sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran halus $> 0,002$ mm, *permeabilitas* rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat *kohesif*, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat.

Lempung terdiri dari partikel yang berbentuk lempeng pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral lempung dan mineral lainnya. Faktor utama yang digunakan untuk mengontrol ukuran, bentuk, sifat fisik, sifat kimia dan partikel tanah, menurut

Mitchell, J.K (1979) adalah mineralogi. Sifat fisik dan mekanis tanah lempung dikendalikan oleh mineral yang terkandung di tanah tersebut. Mineral tersebut terutama terdiri dari alumunium silikat yang terdiri dari silikat tetrahedral dan alumunium octahedral. Mineral-mineral ini terutama terdiri dari kristalin dimana atom-atom yang membentuknya dalam suatu pola geometri tertentu. Setiap unit Tetrahedral terdiri dari empat atom oksigen mengelilingi satu atom silicon, sedangkan unit oktahedral terdiri dari enam atom oksigen yang mengelilingi satu atom. Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Rangkaian Dasar Oktahedral dan Tetrahedral

Pengindentifikasian tanah ekspansif pada awal penyelidikan tanah diperlukan untuk melakukan metode pengujian yang tepat di laboratorium. Klasifikasi yang didasarkan atas *indeks properties* tanah seperti kandungan lempung dan plastisitas adalah yang umum dilaksanakan dalam praktek untuk pengindentifikasian tanah ekspansif.

Ada beberapa metode yang biasanya digunakan untuk pengidentifikasian tanah lempung yaitu :

a. Uji klasifikasi teknik

Hasil pengujian *indeks properties* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif. Dari harga indeks plastisitas dan sifat perubahan volume tanah yang berhubungan dengan jumlah partikel yang lebih kecil dari 0,0001 mm, yaitu yang sifatnya tergantung dari gaya permukaan dan bukan gaya gravitasi, Skempton (1953) mengemukakan bahwa dari parameter aktifitas (A_c) sebagai berikut :

$$Aktifitas(A) = \frac{IndeksPlastisitas}{C - 10}$$

C = Persentase fraksi lempung $< 0,002$

Untuk nilai $A > 1,25$ digolongkan aktif dan sifatnya ekspansif, nilai A $1,25 < A < 0,75$ digolongkan normal, sedangkan nilai $A < 0,75$ digolongkan tidak aktif. Tabel 2.1. menunjukkan hubungan antara aktifitas dan kandungan mineral tanah lempung. Lempung ekspansif dapat juga digolongkan berdasarkan kadar colloid (Tabel 2.2.), berdasarkan lolos saringan No. 200 dan batas cair (Tabel 2.3.), dan berdasarkan batas susut (Tabel 2.4.).

Tabel 2.1. Hubungan Aktifitas dan Kandungan Mineral

Mineral	Aktifitas
Kaolinite	0.33 – 0.46
Illite	0.99
Montmorillonite (Ca)	1.5
Montmorillonite (Na)	7.2

Sumber : Skempton (1953)

**Tabel 2.2. Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan
Kadar Colloid**

Data Indeks Properties			% Total Volume Change	Degree Of Ekspansion
Colloid (< 0.00 mm)	Liquid Limit (%)	Standart Penetration		
> 28	> 35	< 11	> 30	Very High
20 – 13	25 – 41	7 – 12	20 – 30	High
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 20	Medium
< 15	< 28	> 15	< 10	Low

Sumber : Holtz & Gibbs (1956)

**Tabel 2.3. Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan
% Lolos Saringan No.200 dan Batas Cair**

Laboratory and Field Data			% Total Volume Change	Degree Of Ekspansion
Persen Passing No.200	Liquid Limit (%)	Standart Penetration		
> 95	> 65	> 30	> 10	Very High
60 – 95	40 – 60	20 – 30	3 – 10	High
30 – 60	30 – 40	10 – 20	1 – 5	Medium
< 30	< 30	< 20	< 1	Low

Sumber : Chen (1965) dalam Chen (1988)

**Tabel 2.4. Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan
Batas Susut**

Linier Shrinkage	SL (%)	Probable Swell	Degree Of Ekspansion
< 5	> 12	< 0.5	Non critical
5 – 8	10 -12	0.5 -1.5	Marginal
> 8	< 12	< 1.5	Critical

Sumber : Altmeyer (1955) dalam Altmeyer (1995)

b. Uji Mineralogi

Di dalam uji mineralogi ada beberapa cara yang biasa dipergunakan yaitu antara lain :

1. Difraksi Sinar X (*X-Ray Difraction*)

Merupakan metode yang paling terkenal dan paling sering dipergunakan untuk menentukan perbandingan dari berbagai mineral yang terdapat pada lempung, ini dilakukan dengan cara membandingkan intensitas dari garis difraksi berbagai mineral terhadap garis bahan standar.

2. Analisa Kimia

Analisa ini digunakan sebagai pelengkap dari metode sinar X.

3. Mikroskop Elektron (*Elektron Mocroscope Resolution*)

Kegunaan dari metode ini adalah untuk menentukan komposisi mineral tekstur dan struktur mineral.

4. Dye Absorption

Bahan celup dan reagen lainnya akan menimbulkan warna tertentu jika diserap lempung, sehingga dapat juga dipergunakan untuk identifikasi lempung.

c. Uji terhadap batas-batas Atterberg

1. Kriteria Altmeyer (1955) dalam Altmeyer (1995)

Kriteria ini menggunakan persen dari tanah lempung karena menurut Altmeyer beberapa laboratorium mekanika tanah tidak menyertakan analisa hidrometer. Dalam menggolongkan tanah ekspansif menggunakan *linear shrinkage* dan *shrinkage limit* (SL) atau lihat Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan Shrinkage Limit

Linier Shrinkage	SL (%)	Probable Swell	Degree Of Ekspansion
< 5	> 12	< 0.5	Non critical
5 – 8	10 -12	0.5 -1.5	Marginal
> 8	< 12	< 1.5	Critical

Sumber : Altmeyer (1955) dalam Altmeyer (1995)

2. Kriteria Raman (1967)

Kriteria Raman ini menggolongkan batas-batas Atterberg pada tanah ekspansif dengan menggunakan dua parameter yaitu PI (*Plasticity Index*) dan SL (*Shrinkage Limit*). (lihat Tabel 2.6.)

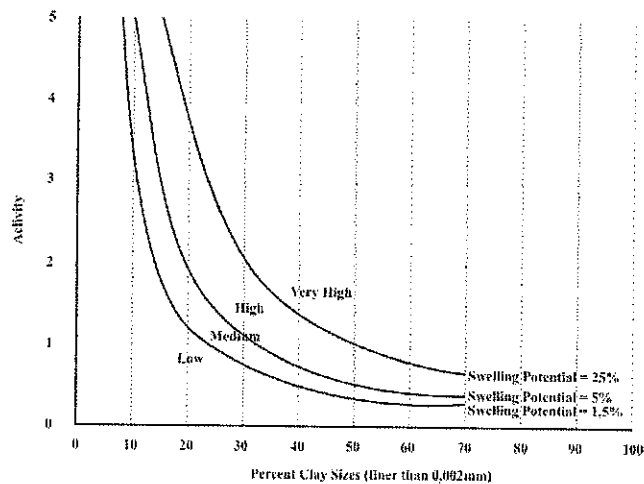
Tabel 2.6. Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SL

Plasticity Index (%)	Shinkage Index (%)	Degree Of Ekspansion
< 12	< 15	Low
12 – 23	15 - 30	Medium
23 - 30	30 -40	High
> 30	> 40	Very High

Sumber : Raman (1967)

3. Kriteria Seed (1962)

Pada kriteria Seed nilai *swelling potential* pada tanah ekspansif ditentukan dengan grafik antara jumlah tanah lempung dalam persen dengan parameter aktivitas (A). (lihat Gambar 2.2.)



Gambar 2.2. Grafik Klasifikasi Pada Tanah Lempung

4. Kriteria Chen (1988)

Pada kriteria Chen nilai *swelling potential* pada tanah ekspansif hanya didasarkan pada parameter PI (Plasticity Indeks) saja. (lihat Tabel 2.7.)

Tabel 2.7. Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP

Plasticity Indeks (%)	Swelling Potential
0 - 15	Low
10 - 35	Medium
10 - 35	High
> 35	Very High

Sumber : Chen (1988)

2.3.2. Semen

Semen yang digunakan untuk stabilisasi dapat dari berbagai jenis, tetapi yang sering digunakan dalam stabilisasi tanah adalah semen portland (PC). *Portland cement* merupakan campuran bahan-

bahan yang sebagian besar berisi kapur (CaO), silikat (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3).

Semen adalah bahan yang bila dicampur dengan air akan menjadi ikatan dan pengerasan karena suatu reaksi kimia sehingga membentuk suatu massa yang kuat dan keras yang kemudian sering disebut dengan *hydraulic cement*. Dengan dicampur air maka Portland cement dapat dijadikan pengikat hidraulis. Kemudian disusul dengan adanya *hydraulic lime* yang didapat dari pembakaran batu kapur tidak murni yang mengandung oksida-oksida tertentu.

Persyaratan komposisi kimia semen Portland menurut ASTM Designation C 150-92, seperti terlihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Persyaratan Standart Komposisi Kimia
Portland Cement

Kimia Semen	Jenis Portland Semen				
	I dan IA	II dan IIA	III Dan IIIA	IV	V
Silicon dioxide (SiO_2), min. %		20.2			
Alumunium oxide (Fe_2O_3), max %		6.0			
Ferric oxide (Fe_2O_3), max %		6.0		6.5	
Magnesium oxide (MgO), max %	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Sulfur trioxide (SO_3), max %					
When (C_3A) is 8% less	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
When (C_3A) is more than 8%	3.5	NA	4.5	NA	NA
Loss in ignition, max %	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
Insoluble residue, max %	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Tricalcium silicate (C_3S), max %				35	
Dicalcium silicate (C_2S)				40	
Tricalcium aluminate (C_3A), max %		8	15	7	5
Tetracalcium aluminoferrite tambah dua kali tricalcium aluminate ($\text{C}_4\text{AF}+2(\text{C}_3\text{A})$) atau solid solution ($\text{C}_2\text{AF}+\text{C}_2\text{F}$) , as applicable, max %					25

Sumber : ASTM Standart On Soil Stabilization With Admixture 1992

Distribusi ukuran butiran *portland cement* adalah antara 0,0 dan 100 mikron, dengan rata-rata 20 mikron untuk butiran yang lebih besar dari ini tidak pernah berhidrasi lengkap. Butiran semen berukuran 10 mikron mungkin memerlukan tiga bulan untuk selesai berhidrasi dan oleh sebab itu semen halus kelihatannya lebih menguntungkan. Kekuatan lebih tinggi dari stabilisasi tanah dengan *Portland cement* dapat dihasilkan dari semen yang sangat halus.

2.3.3. *Fly Ash* (abu terbang batubara)

Fly ash merupakan bagian terbesar dari abu batubara yang memiliki ukuran butiran yang halus dan menampakkan warna keabu-abuan. Pemanfaatan *fly ash* ini untuk stabilisasi tanah adalah karena *fly ash* mempunyai sifat pozzolanik dan juga dapat mengurangi *shrinkage* dan *cracking* problem yang biasanya timbul pada penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi tanah. Pada intinya *fly ash* mengandung unsur kimia antara lain adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), feri oksida (Fe_2O_3), dan kalsium oksida (CaO). Juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon.

Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batubara dan kemurnian batubara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan (*boiler*) dan operasi, metoda penyimpanan dan penimbunan.

Menurut ASTM 618-78 *fly ash* dibagi menjadi dua kelas, yaitu :

a. *Fly ash* kelas C

Merupakan *fly ash* yang diproduksi dari pembakaran *subbituminous coal* atau batubara lignite selain mempunyai sifat pozzolanic, *fly ash* ini juga memiliki sifat *cementitious* apabila bereaksi dengan air dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur. *Fly ash* kelas C mengandung kalsium dalam kadar yang tinggi.

b. *Fly ash* kelas F

Merupakan *fly ash* yang diproduksi dari *bituminous coal*. Pada *fly ash* kelas F ini untuk mendapatkan sifat *cementitious* harus diberi penambahan kapur atau semen. *Fly ash* kelas F ini kadar kalsiumnya rendah.

2.4. Stabilisasi Tanah Dengan Semen Dan Fly Ash

Di dataran Salisbury Inggris tahun 1917, tercatat bahwa campuran tanah-semen telah digunakan untuk jalan berlumpur agar lebih mudah dilewati kendaraan. Penetapan campuran tanah-semen yang digunakan sebagai bahan stabilisasi telah dimulai dibicarakan di awal tahun 1917 di Philadelphia, Amerika Serikat (USA). Setelah tahun 1920-an stabilisasi dengan semen telah berkembang ke beberapa negara bagian di USA dan kemudian juga ke beberapa negara di dunia.

Stabilisasi tanah dengan semen ditentukan oleh beberapa faktor yang terpenting yaitu antara lain kualitas serta persentase dari tanah, semen, dan air per unit volume, keadaan pada waktu hidrasi semen, dan umur pemeraman campuran (Kezdi, 1979).

Interaksi antara tanah dan semen akan memberi hasil yang baik jika tanah bergradasi baik, mempunyai ruang pori yang kecil dan bidang kontak yang luas (Kezdi, 1979).

Menurut Herzog (1963), partikel semen yang kering tersusun secara heterogen dan berisi kristal-kristal 3CaOSiO_2 , 4CaOSiO_4 , $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$, serta bahan-bahan padat berupa $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$. Pada waktu hidrasi semen, komponen-komponen tersebut bereaksi dengan air dan membentuk hidrasi silikat, alumunium dan kalsium hidroksida.

Ketika semen ditambahkan pada tanah dasar yang akan distabilisasi maka akan terjadi dua proses yaitu yang pertama adalah proses primer terdiri dari hidrolis dan hidrasi semen yang kuat untuk mengikat butiran mineral yang berdekatan dan butiran tanah. Yang kedua adalah proses sekunder yaitu yang terdiri dari reaksi antara butiran tanah dan kalsium hidroksida yang dibebaskan selama hidrasi semen (Krebs & Walker, 1971).

Umumnya ada dua istilah yang muncul dalam stabilisasi tanah yaitu modifikasi dan sementasi. Modifikasi meliputi penambahan

sejumlah kecil semen (sekitar 0.5% samapi 3% dari berat tanah) untuk mengurangi plastisitas, mengendalikan pengembangan, memperbaiki sifat kekuatan tanpa banyak mengeras atau peningkatan yang berarti pada nilai kuat tekan atau tarik. Dalam keadaan ini derajat sementasi sangat kecil, sekalipun demikian sifat bahan telah diperbaiki, ini biasa disebut sebagai bahan yang tersementasi dan istilah sementasi digunakan (Sherwood, 1993)

Untuk mengurangi terjadinya *shrinkage* dan *cracking* problem yang biasanya terjadi pada stabilisasi dengan semen maka pada stabilisasi tanah ini juga akan ditambah dengan abu terbang batu bara (*fly ash*). Stabilisasi dengan *fly ash* sudah sejak lama dikenal dan diteliti dengan intensif sejak tahun 1962 oleh Davidson et. Al, *fly ash* digunakan sebagai bahan stabilisasi bersama-sama dengan kapur pada tanah lanau dan lempung.

Efek yang diperoleh dari stabilisasi dengan *fly ash* pada dasarnya identik dengan reaksi calcium (Keddy, 1979), dari pengamatan dengan menggunakan serangkaian *X-ray diffractograms* memperlihatkan bahwa tiga hari pertama setelah pencampuran *fly ash* pada tanah, maka terbentuk puncak CaO dan setelah tiga hari muncul puncak Ca(OH)_2 terus berkembang hingga hari ke-28 dan selanjutnya menurun.

Kesulitan yang akan ditemui pada stabilisasi dengan menggunakan *fly ash* adalah tingkat kandungan karbon yang tidak terbakar biasanya cukup tinggi dan hal ini sangat tidak menguntungkan. Pemadatan campuran tanah dengan *fly ash* pada umumnya juga sulit dilaksanakan, hal ini disebabkan banyak fraksi *fly ash* yang mempunyai ukuran lanau.

2.5. Penelitian-Penelitian Yang Telah Ada

Penelitian-penelitian stabilisasi tanah dengan bahan-bahan *stabilizing agents* yang berbeda-beda antara lain adalah sebagai berikut :

1. Lo & Wardani, 2000; penelitian yang dilakukan adalah mengamati perilaku stabilisasi *silt* dengan cement dan *fly ash*. Komposisi campuran *stabilizing agents* yang digunakan adalah 2% cement dan 4% *fly ash*. Data test tekanan, tegangan dan kekuatan termasuk *cementing agents* berkontribusi pada kekakuan dan kekuatan melalui dua mekanisme antara butiran dan *dilation*.
2. Yosua, 2000; melakukan penelitian tentang stabilisasi tanah dari Barito Utara dengan semen untuk konstruksi jalan. Penambahan semen kedalam tanah dapat memperbaiki karakteristik tanah seperti turunnya indeks plastik dan batas susut tanah.
3. Hanny Juliany, 2001; melakukan studi pengaruh *fly ash* terhadap sifat mengembang dan kuat tekan bebas pada tanah lempung. Penambahan kadar *fly ash* dan waktu pemeraman pada tanah lempung dapat menurunkan tekanan mengembang. Tetapi penambahan *fly ash* tidak dapat menambah nilai kuat tekan tanah.
4. Asriwiyanti Desiani, 1998; penelitian yang dilakukan adalah stabilisasi lempung lunak P. Rimau dengan menggunakan semen dan bahan kimia. Dengan penambahan semen dapat menurunkan parameter konsolidasi sesuai dengan penambahan kadar semen. Akibat penambahan senyawa kimia KOH, NaOH dan Na_2CO_3 pada kadar semen optimum nilai parameter konsolidasi rata-rata cenderung menurun.

2.6. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah adanya hubungan antara penambahan semen dan *fly ash* pada tanah asli dengan sifat fisik dan

mekanik tanah. Dengan adanya penambahan prosentase kadar *fly ash* dan bertambahnya waktu pemeraman maka diharapkan dapat menaikkan nilai kuat tekan bebas, menurunkan nilai *swell potential* dan *swell pressure* dan juga dapat menaikkan nilai kohesi dan sudut geser, dibanding dengan tanah asli Karangawen Demak. Hipotesis ini muncul setelah mempelajari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya antara lain Hanny Juliany Dani (2001) pada lempung ekspansif Tasikmalaya dimana terjadi perubahan sifat fisik dan mekanik tanah dengan bertambahnya kadar semen dan fly ash. Hal yang sama juga dilakukan oleh Astriwiyanti Desiani (1998) pada lempung lunak pulau Rimau.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Program

Penelitian ini dilakukan pada tanah ekspansif natural (tanpa campuran bahan *stabilizing agents*) dan tanah ekspansif yang telah diberi *stabilizing agents* yang pada penelitian ini adalah semen dan *fly ash* dengan beberapa variasi persen dari *stabilizing agents*.

Program meliputi pekerjaan persiapan, pekerjaan uji laboratorium dan analisis terhadap hasil pengujian laboratorium. Skema program penelitian dapat dilihat dalam Diagram Alir Penelitian dalam Gambar 3.1.

3.2 Pekerjaan Persiapan

Persiapan penelitian yang dilakukan terdiri dari :

- Pengadaan literatur yang berkaitan dengan lempung ekspansif dan stabilisasi tanah dengan semen dan *fly ash*.
- Pengambilan contoh tanah

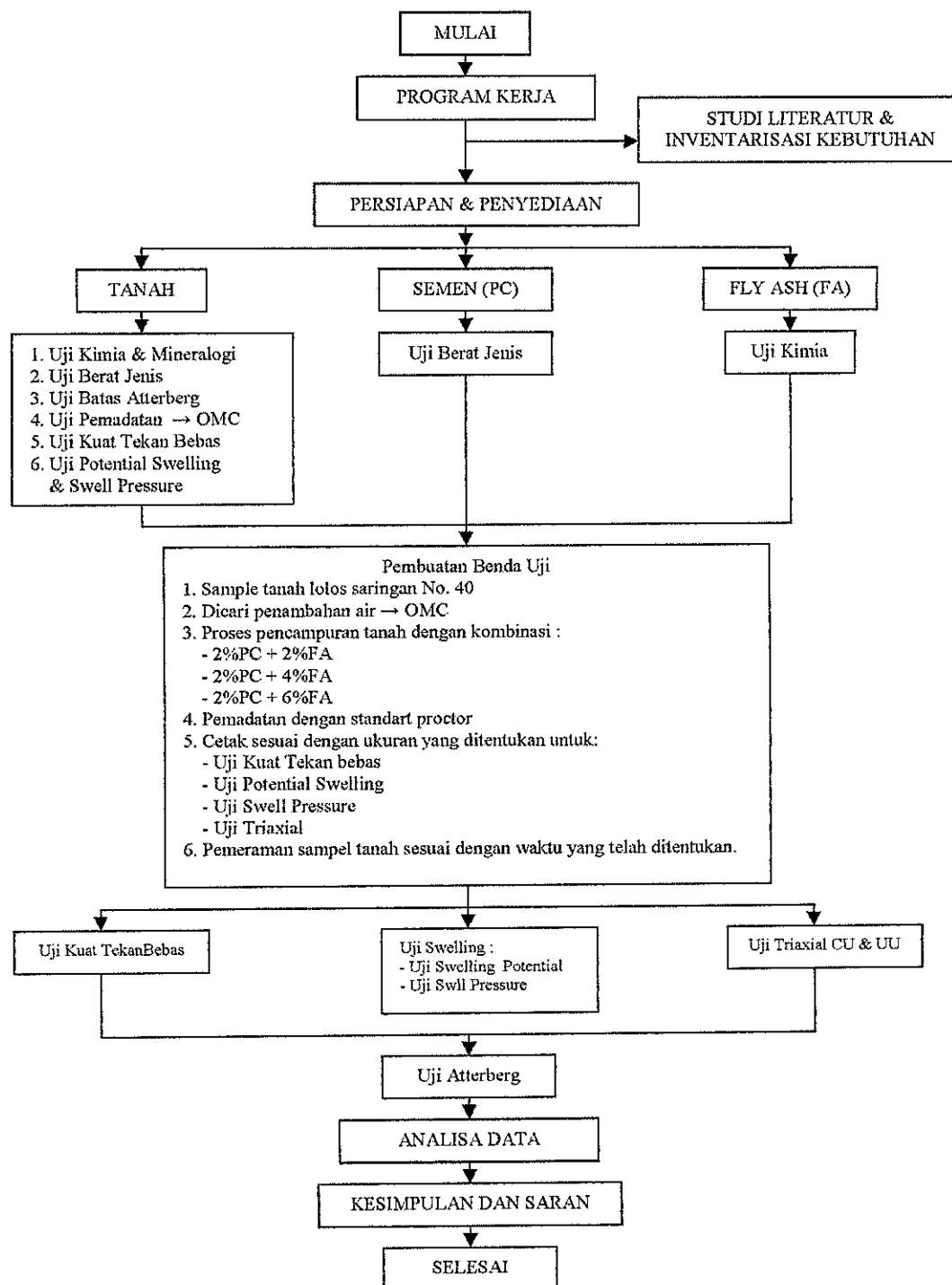
Lokasi pengambilan contoh tanah adalah di daerah Karangawen KM. 20 Kota Demak. Contoh tanah yang diteliti diambil \pm berjarak 10 m dari bahu jalan. Hal ini dilakukan agar didapat contoh tanah asli, bukan tanah yang sudah tercampur dengan tanah timbunan. Contoh tanah diambil dengan kedalaman \pm 75 cm – 100 cm. Contoh tanah diambil dalam keadaan *disturbed* (terganggu) dalam bentuk bongkahan-bongkahan tanah.

- Pengadaan semen

Semen yang digunakan untuk penelitian ini adalah semen Portland yang sesuai dengan ASTM C 150-92 yaitu semen Portland type I dengan merk semen Cibinong.

- Pengambilan bahan *fly ash*

Fly ash yang digunakan berasal dari limbah PLTU Suryalaya yang diperoleh melalui PT. LKU (Lintas Kalimantan Utara). *Fly ash* ini merupakan hasil dari pembakaran batubaran *low calorie* yang berasal dari pulau Kalimantan.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.3 Pekerjaan Laboratorium

Pekerjaan yang dilakukan di laboratorium meliputi uji pendahuluan dan pekerjaan penelitian.

3.3.1 Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan meliputi uji sifat kimia tanah lempung, identifikasi mineral lempung, komposisi kimia lempung dan *fly ash* serta sifat fisik dan mekanis tanah lempung asli untuk mengidentifikasi jenis tanah yang digunakan tergolong ekspansif atau tidak.

Penentuan komposisi kimia lempung dilakukan di Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Keramik Jl. Ahmad Yani No. 392, Bandung. Berdasarkan komposisi kimia dan mineral tanah dilakukan uji rasional untuk mengetahui besar kandungan masing-masing mineral yang ada dalam tanah. Dari pengujian ini diharapkan dapat diketahui apakah lempung Karangawen yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi kriteria tanah ekspansif.

3.3.2 Uji Sifat Fisik Tanah

Selain dari uji kimia untuk mengidentifikasi tanah ekspansif dilakukan juga serangkaian uji fisik.

Uji fisik yang dilakukan meliputi :

a. Uji berat jenis

Pengujian berat jenis untuk butiran tanah lebih halus dari saringan no. 4 menyesuaikan pada ASTM D 854 dengan bantuan piknometer. Berat jenis didefinisikan sebagai rasio massa di udara dari suatu volume material pada temperatur tertentu terhadap massa dari volume yang sama air suling pada temperatur tertentu.

Dalam penelitian ini, berat jenis diuji pada tanah asli dan pada tanah yang telah dicampur dengan semen dan *fly ash*.

Adapun rumus berat jenis tanah (G_s) adalah :

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

keterangan :

W_1 = berat piknometer (gram)

W_2 = berat piknometer + tanah kering (gram)

W_3 = berat piknometer + tanah + air (gram)

W_4 = berat piknometer + air (gram)

b. Uji batas-batas Atterberg

Pengujian batas Atterberg dilakukan mengacu pada ASTM D 4318. Metode-metode pengujian ini meliputi penentuan dari batas cair, batas plastis dan batas susut. Pengujian ini dilakukan pada tanah asli dan pada tanah yang telah dicampur dengan semen dan *fly ash*.

Batas cair ditentukan dengan melakukan percobaan pada sampel yang ditebarkan pada mangkuk perunggu dan dibagi dua dengan *grooving tool* (alat pencelah). Sampel kemudian dibiarkan jatuh bersama dari guncangan yang disebabkan jatuhnya mangkok berulang kali pada peralatan standart. Diperlukan tiga kali atau lebih coba-coba yang dilakukan sepanjang rentang kadar air dan data yang diplot untuk membuat hubungan sehingga batas cair didapat.

Batas plastis ditentukan dengan menekan dan menggulung suatu porsi kecil tanah plastis sedemikian menyerupai benang dengan Ø 3 mm. Contoh tanah yang tepat pada Ø 3 mm mulai menunjukkan retak-retak menunjukkan tanah dalam keadaan batas plastis. Kemudian contoh tanah tersebut diperiksa kadar airnya. Jika batangan belum mencapai Ø 3 mm sudah menunjukkan retak maka tanah tersebut terlalu kering dan percobaan harus diulang dengan menambahkan kadar airnya dan

sebaliknya jika batangan sudah mencapai Ø 3 mm dan belum menunjukkan retak maka tanah terlalu basah. Indeks plastisitas (PI) dihitung sebagai selisih antara batas cair (LL) dan batas plastis (PL).

Adapun rumus untuk batas plastis adalah :

$$\text{Batas Plastis} = \frac{b - c}{c - a}$$

keterangan :

- a = berat cawan kosong
- b = berat cawan + batangan sampel tanah
- c = berat cawan + batangan sampel tanah kering.

Batas susut dapat didefinisikan sebagai kadar air terkecil dimana tanah dapat menjadi jenuh sempurna.

Adapun rumus untuk batas susut adalah :

$$\text{Batas Susut} = w - \frac{V_1 - V_2}{W} \times 100\%$$

keterangan :

- w = kadar air tanah basah
- V₁ = volume tanah basah
- V₂ = volume tanah kering
- W = berat tanah kering

3.3.3 Uji Sifat Mekanis Tanah

a. Uji Pemadatan

Uji pemadatan ini dilakukan dengan mengacu pada ASTM D 698. pengujian ini dilakukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan cara memadatkan sampel dalam cetakan silinder berukuran tertentu dengan menggunakan alat penumbuk 2,5 kg dan tinggi jatuh 30 cm. Uji Pemadatan dilakukan untuk mencari kadar air optimum dari tanah asli.

Adapun perhitungan untuk tes pemadatan ini adalah :

$$\text{Berat Isi Basah } (\gamma) = \frac{B_2 - B_1}{V}$$

keterangan :

B_1 = berat mold

B_2 = berat mold + tanah

V = volume mold

$$\text{Berat Isi Kering } (\gamma_d) = \frac{\gamma \times 100}{(100 + w)}$$

keterangan :

w = kadar air setelah pemadatan

b. Uji Kuat Tekan Bebas

Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada ASTM D 2166. Uji kuat tekan bebas ini adalah untuk mengetahui kuat tekan sampel tanah berbentuk silinder yang bebas bagian sampingnya, pecah dalam uji tekan sederhana menggunakan aplikasi *strain controlled* suatu beban axial. Pengujian kuat tekan ini dilakukan pada tanah asli dan juga pada tanah yang sudah diberi campuran semen dan *fly ash*. Namun untuk tanah yang sudah diberi campuran semen dan *fly ash*, pengujian dilaksanakan pada waktu peram 4 hari, dan 7 hari. Pembacaan tegangan pada pengujian kuat tekan bebas ini dibatasi sampai regangan 20%.

Adapun perhitungan untuk uji kuat tekan bebas adalah :

$$\text{Regangan Axial : } \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

keterangan :

ϵ = regangan axial

ΔL = perubahan panjang

L_0 = panjang contoh awal

$$\text{Luas penampang rata-rata} : A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

keterangan :

A_0 = luas penampang awal

$$\text{Beban / luas} : \pi = \frac{P}{A}$$

c. Uji *Swelling Potential*

Pengujian *swelling potential* ini dilaksanakan mengacu pada ASTM D 4546 atau yang disebut juga *constant volume test*. Nilai swelling yaitu prosentase pengembangan benda uji karena bertambahnya kadar air akibat pemeraman.

Dalam ASTM D 4546 terdapat tiga metode pengujian, yaitu :

1. Metode A

Contoh tanah yang sudah siap dalam consolidometer ring diberi tekanan sebesar 1 kPa. Sebelum dibasahi contoh tanah tersebut diberi *seating pressure* minimal 1 kPa selama 5 menit dan dilakukan pembacaan dial *seating pressure*, kemudian dilepas dan dilakukan pembacaan dial sekali lagi. Contoh tanah dengan beban konstan dengan tekanan 1 kPa diberi air hingga mengembang dan dilakukan pencatatan dial selama 72 jam. Kondisi terakhir ini ditetapkan sebagai prosentase mengembang maksimum yang terjadi. Langkah selanjutnya adalah contoh tanah diberi beban tambahan berturut-turut sebesar 5 kPa, 10 kPa, 20 kPa, 40 kPa, 80 kPa, 100 kPa dan seterusnya, sehingga terlewati kondisi air pori awal. Untuk masing-masing kondisi dipakai masa beban 12 jam.

2. Metode B

Caranya hampir sama dengan metode A sedangkan perbedaannya adalah beban tetap yang diberikan pada metode

A tetap selama mengembang yaitu 1 kPa, sementara pada metode B diberi tambahan beban tetap yang lebih besar dan berfungsi sebagai tekan overbuden.

3. Metode C

Contoh tanah yang sudah siap dalam consolidometer terlebih dahulu diberi seating pressure selama 5 menit dan dilepas. Pada kondisi ini dilakukan pembacaan dial. Kemudian consolidometer tersebut perlahan dibasahi dengan air. Untuk menjaga agar tanah tidak mengalami perubahan volume selama pembasahan, tanah harus diberi beban untuk melawan swelling yang terjadi pada sistem. Usaha mempertahankan volume tersebut dilakukan terus-menerus selama 48 jam. Langkah selanjutnya contoh tanah diberi beban tambahan 40 kPa, 80 kPa, 100 kPa, 200 kPa dan seterusnya. Waktu setiap pembebanan adalah 12 jam.

Dalam pengujian ini dipergunakan uji swelling potential metode B. Dimana dalam metode ini beban yang diberikan pada alat consolidometer sesuai dengan kondisi sample tanah yang ada. Beban tambahan akan ditambahkan selama 5 menit kemudian baca dial volume. Setelah dilepas, consolidometer diisi air hingga tanah menjadi basah dan mengembang. Pembacaan dial swelling dilakukan sampai swelling berhenti. Pengujian swelling potential ini dilakukan pada tanah asli dan juga pada tanah yang sudah diberi campuran semen dan *fly ash*. Namun untuk tanah yang sudah diberi campuran semen dan *fly ash*, pengujian dilaksanakan pada waktu peram 4 hari dan 7 hari.

Adapun perhitungan untuk uji *swelling potential* adalah :

$$\% \text{Pengembangan} = \frac{\text{perubahan tinggi}}{\text{tinggi semula}} \times 100\%$$

d. Uji Swell Pressure

Pengujian *swell pressure* ini dilaksanakan mengacu pada ASTM D 4546. Pengujian ini merupakan pengujian lanjutan dari uji *swelling potential*. Dimana apabila dial *swelling* telah berhenti, beban yang ada di lengan alat consolidometer perlahan lahan diberi penambahan beban sehingga kembali ke angka pori awal. Pengujian *swell pressure* ini dilakukan pada tanah asli dan juga pada tanah yang sudah diberi campuran semen dan *fly ash*. Namun untuk tanah yang sudah diberi campuran semen dan *fly ash*, pengujian dilaksanakan pada waktu peram 4 hari, dan 7 hari.

e. Uji Triaxial

Pengujian Triaxial ini mengacu pada ASTM D 2850. Disini pengujian Triaxial yang dilaksanakan menggunakan 2 macam percobaan yaitu UU (*Unconsolidated Undrained*) dan CU (*Consolidated Undrained*). Pengujian Triaxial ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam dari suatu contoh tanah. Pengujian triaxial ini dilakukan pada tanah asli dan juga pada tanah yang sudah diberi campuran semen dan *fly ash*. Namun untuk tanah yang sudah diberi campuran semen dan *fly ash*, pengujian dilaksanakan pada waktu peram 4 hari, dan 7 hari.

3.3.4 Kombinasi Campuran

Pada penelitian ini tanah asli akan dicampur dengan *stabilizing agents* yang dalam hal ini adalah semen dan *fly ash*. Campuran tanah dengan semen ini akan dicampur dengan beberapa komposisi jumlah semen dan *fly ash* yang berbeda-beda.

Perhitungan komposisi dari campuran tanah dengan semen (PC) dan *fly ash* (FA) dapat dilihat pada uraian dibawah ini :

Apabila tanah yang akan digunakan untuk sampel percobaan seberat 1000 gram, maka jumlah semen dan *fly ash* yang harus ditambahkan adalah sebagai berikut :

- Untuk campuran dengan 2% PC ditambah 2% FA
 $\text{Berat semen} = 2\% \times 1000 \text{ gr} = 20 \text{ gr}$
 $\text{Berat fly ash} = 2\% \times 1000 \text{ gr} = 20 \text{ gr}$
- Untuk campuran dengan 2% PC ditambah 4% FA
 $\text{Berat semen} = 2\% \times 1000 \text{ gr} = 20 \text{ gr}$
 $\text{Berat fly ash} = 4\% \times 1000 \text{ gr} = 40 \text{ gr}$
- Untuk campuran dengan 2% PC ditambah 6% FA
 $\text{Berat semen} = 2\% \times 1000 \text{ gr} = 20 \text{ gr}$
 $\text{Berat fly ash} = 6\% \times 1000 \text{ gr} = 60 \text{ gr}$

3.3.5 Pencampuran Tanah Dengan Stabilizing Agents dan Pembuatan Benda Uji

Pencampuran tanah dengan semen dan *fly ash* dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

1. Tanah kering matahari ditumbuk dengan palu karet dan disaring dengan saringan No. 40 kemudian periksa kadar air (w) dan disimpan dalam kantong plastik yang tertutup rapat.
2. Hitung penambahan air pada campuran sampel tanah dengan stabilizing agents agar kadar air campuran tanah dengan stabilizing agents kadar airnya dapat mendekati kadar air optimum.
3. Menghitung dan menimbang jumlah semen dan *fly ash* yang dibutuhkan sesuai dengan jumlah perhitungan prosentase perbandingan campuran.
4. Campur tanah dengan semen dan *fly ash* sampai teraduk dengan rata.
5. Kemudian campuran tanah dengan stabilizing agents dipadatkan dengan pemadatan standart proctor.

6. Campuran sampel tanah dengan stabilizing agents dicetak sesuai dengan dimensi ukuran yang telah ditentukan untuk pengujian kuat tekan bebas, pengujian potential swelling, pengujian swell pressure dan pengujian triaxial.
7. Kemudian tanah yang telah tercampur dengan semen dan fly ash kemudian disimpan sesuai dengan waktu pemeraman yang telah ditentukan.

3.3.6 Perhitungan Jumlah Sampel Yang Diperlukan Untuk Program Pengujian

Jumlah sampel yang diperlukan untuk masing-masing pengujian yang dilaksanakan :

1. Difraksi Sinar X : 1 sample
2. Mineralogi Tanah Lempung : 1 sample
3. Komposisi Kimia Tanah : 1 sample
4. Pengujian Berat Jenis : 2 sample
5. Pengujian Pemadatan : 5 sample
6. Pengujian Batas Atterberg
 - Tanah asli : 1 sample
 - Campuran tanah dengan semen dan *fly ash*, seperti dirinci dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Jumlah Sample Campuran Tanah Dengan Semen (PC) Dan *Fly Ash* (FA) Untuk Pengujian Batas Atterberg

Campuran Tanah Dengan	Jumlah Sample Untuk Pengujian Batas Atterberg
2% PC + 2% FA	1 sample
2% PC + 4% FA	1 sample
2% PC + 6% FA	1 sample
Jumlah	3 sample

Total jumlah sample untuk pengujian batas Atterberg :

$$1 + 3 = 4 \text{ sample.}$$

7. Pengujian Kuat Tekan Bebas

- Tanah asli : 2 sample
- Campuran tanah dengan semen dan *fly ash*, seperti dirinci dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Jumlah Sample Campuran Tanah Dengan Semen (PC) Dan *Fly Ash* (FA) Untuk Pengujian Kuat Tekan Bebas

Campuran Tanah dengan	Jumlah Sampel Untuk Pengujian Kuat Tekan Bebas	
	Waktu Peram. 4 hari	Waktu Peram 7 hari
2% PC + 2% FA	2 sample	2 sample
2%PC + 4% FA	2 sample	2 sample
2%PC + 6% FA	2 sample	2 sample
Jumlah	6 sample	6 sample

Total jumlah sample untuk pengujian Kuat Tekan Bebas :

$$3 + 6 + 6 = 15 \text{ sample.}$$

8. Pengujian *Swelling* (*Swelling Potential* dan *Swell Pressure*)

- Tanah asli : 3 sample
- Campuran tanah dengan semen dan *fly ash*, seperti dirinci dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Jumlah Sample Campuran Tanah Dengan Semen (PC)
Dan *Fly Ash* (FA) Untuk Pengujian *Swelling*

Campuran Tanah dengan	Jumlah Sampel Untuk Pengujian Potensial Swelling	
	Waktu Peram 4 hari	Waktu Peram 7 hari
2% PC + 2% FA	1 sample	1 sample
2% PC + 4% FA	1 sample	1 sample
2% PC + 6% FA	1 sample	1 sample
Jumlah	3 sample	3 sample

Total jumlah sample untuk pengujian Swelling :

$$3 + 3 + 3 = 9 \text{ sample.}$$

9. Pengujian Triaxial

a. Pengujian Triaxial UU

- Campuran tanah dengan semen dan *fly ash*, seperti dirinci dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Jumlah Sample Campuran Tanah Dengan Semen (PC)
Dan *Fly Ash* (FA) Untuk Pengujian Triaxial UU

Campuran Tanah dengan	Jumlah Sampel Untuk Pengujian Triaxial UU	
	Waktu Peram 4 hari	Waktu Peram 7 hari
2% PC + 2% FA	3 sample	3 sample
2% PC + 4% FA	3 sample	3 sample
2% PC + 6% FA	3 sample	3 sample
Jumlah	9 sample	9 sample

Total jumlah sample untuk pengujian Triaxial UU :

$$9 + 9 = 18 \text{ sample.}$$

b. Pengujian Triaxial CU

- Campuran tanah dengan semen dan *fly ash*, seperti dirinci dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Jumlah Sample Campuran Tanah Dengan Semen (PC) Dan *Fly Ash* (FA) Untuk Pengujian Triaxial CU

Campuran Tanah dengan	Jumlah Sampel Untuk Pengujian Triaxial CU	
	Waktu Peram 4 hari	Waktu Peram 7 hari
2% PC + 2% FA	3 sample	3 sample
2% PC + 4% FA	3 sample	3 sample
2% PC + 6% FA	3 sample	3 sample
Jumlah	9 sample	9 sample

Total jumlah sample untuk pengujian Triaxial CU :

$$9 + 9 = 18 \text{ sample.}$$

10. Jumlah keseluruhan sample yang diperlukan beserta metoda pengujian dan laboratorium tempat pengujian dapat dilihat dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Jumlah Sample, Metoda Pengujian dan Laboratorium Pelaksana

No.	Jenis Pengujian	Jumlah Sample				Metoda pengujian	Laboratorium
		Tanah Asli	2%PC+2%FA	2%PC+2%FA	2%PC+2%FA		
1.	Defraksi Sinar X	1	-	-	-	X-RD	Balai B. P. & P. Industri Keramik, Bdg
2.	Mineralogi Kimia Lempung	1	-	-	-		Balai B. P. & P. Industri Keramik, Bdg
3	Komposisi Kimia Tanah	1	-	-	-	SNI 15/0449/89	Balai B. P. & P. Industri Keramik, Bdg
4.	Berat Jenis	2	-	-	-	ASTM D 4318	Laboratorium UNDIP
5.	Pemadatan	5	-	-	-	ASTM D 698	Laboratorium UNDIP
6..	Batas Atterberg	1	1	1	1	ASTM D 4318	Laboratorium UNDIP
7.	Kuat Tekan Bebas	2	2	2	2	ASTM D 2166	Laboratorium UNDIP

No.	Jenis Pengujian	Jumlah Sample				Metoda pengujian	Laboratorium
		Tanah Asli	2%PC+2%FA	2%PC+2%FA	2%PC+2%FA		
8.	Swelling Potential Swell Pressure	3	1	1	1	ASTM D 4546	Laboratorium UNDIP
9.	Triaxial CU Triaxial UU	3	3	3	3	ASTM D 4546	Laboratorium UNDIP

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

4.1. Identifikasi Tanah Lempung Karangawen

4.1.1. Komposisi Kimia dan Mineral

Pengujian komposisi kimia ini dilakukan dengan dua metode, yaitu :

1. Uji komposisi kimia dan mineral dengan metode X-Ray

Hasil pengujian komposisi kimia dan mineral dengan metode X-Ray terhadap tanah asli (natural) dapat dilihat dalam Tabel 4.1. dan Tabel 4.2. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Analisa Kimia Tanah Lempung
Dengan Metode X-Ray

No.	Komposisi	Satuan, %
1.	Silika Oksida (SiO_2)	52,49
2.	Alumunium Peroksida (AL_2O_3)	15,63
3.	Ferri Oksida (Fe_2O_3)	7,00
4.	Titanium Dioksida (TiO_2)	0,25
5.	Kalsium Monoksida (CaO)	7,85
6.	Magnesium Monoksida (MgO)	1,48
7.	Natrium Monoksida (Na_2O)	0,59
8.	Kalium Monoksida (K_2O)	1,95
9.	Hilang Pijar	12,76

Dari Tabel 4.1. terlihat bahwa komponen utama dari lempung Karangawen Demak terdiri dari Silica Oksida (SiO_2) sebesar 52,49% dan Aluminium Peroksida (AL_2O_3) sebesar 15,63%. Dengan adanya kandungan SiO_2 yang berisikan silica dapat membantu tanah untuk bereaksi dengan semen sehingga dapat

mempercepat proses sementasi. Sedangkan adanya nilai Al_2O_3 yang cukup besar perlu juga dipertimbangkan karena dapat menurunkan kekuatan tanah seiring dengan bertambahnya waktu. Dengan kata lain nilai Al_2O_3 sebesar 15,63% dalam tanah asli akan berpotensi mengurangi kekuatan tanah. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Analisa Mineral Tanah Lempung Dengan Metode X-Ray

No.	Komposisi	Satuan, %
1.	Montmorillonite	15,00
2.	Feldspar	13,49
3.	Halloysite	39,52
4.	Calcite	12,29
5.	Alpha Quarts	14,05
6.	Maghemite	5,62

Dari hasil pengujian mineral yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 maka dapat terlihat bahwa lempung Karangawen Demak ini mengandung mineral Halloysite yang cukup besar yaitu sebesar 39,52% dan juga mengandung mineral Montmorillonite sebesar 15%. Kandungan mineral Halloysite yang cukup besar ini dapat mengakibatkan tanah dalam keadaan basah akan mengalami aktifitas kimia yang tinggi yaitu sifat kembang susut (*swelling*). Jika lapisan tunggal air menghilang karena proses penguapan, mineral ini akan berkelakuan lain dan akan berubah secara tajam jika tanah dipnasi sampai menghilangkan lapisan tunggal molekul air. Sedangkan dengan adanya kandungan mineral Montmorillonite yang cukup dapat menunjukkan bahwa tanah Karangawen Demak merupakan tanah lempung yang bersifat ekspansif.

2. Uji komposisi kimia dengan metode CEC (*Cation Exchange Capacity*)

Hasil pengujian komposisi kimia dengan metode CEC (*Cation Exchange Capacity*) dapat dilihat dalam Tabel 4.3. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Analisa Kimia Tanah Lempung Dengan Metode CEC

No.	Komposisi	Satuan, meq/gr
1.	Ca ²⁺	13,8
2.	Mg ²⁺	0,36
3.	Na ⁺	3,41
4.	K ⁺	0,39
5.	SO ₃	Tidak terdeteksi
6.	Fe ³⁺	Tidak terdeteksi

Dari hasil uji analisa kimia dengan metode *Cation Exchange Capacity* seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.3 maka dapat dilihat bahwa lempung Karangawen Demak mengandung Ca²⁺ sebesar 13,8 meq/gr. Kandungan Ca²⁺ yang lebih besar dari komposisi mineral lainnya menunjukkan bahwa sampel tanah asli tersebut mengandung mineral Montmorillonite karena mineral Montmorillonite tersebut biasa berada pada tanah dengan nilai komposisi mineral Ca²⁺ yang lebih tinggi dari komposisi mineral lainnya.

4.1.2. Uji Sifat Fisik Lempung Karangawen Demak

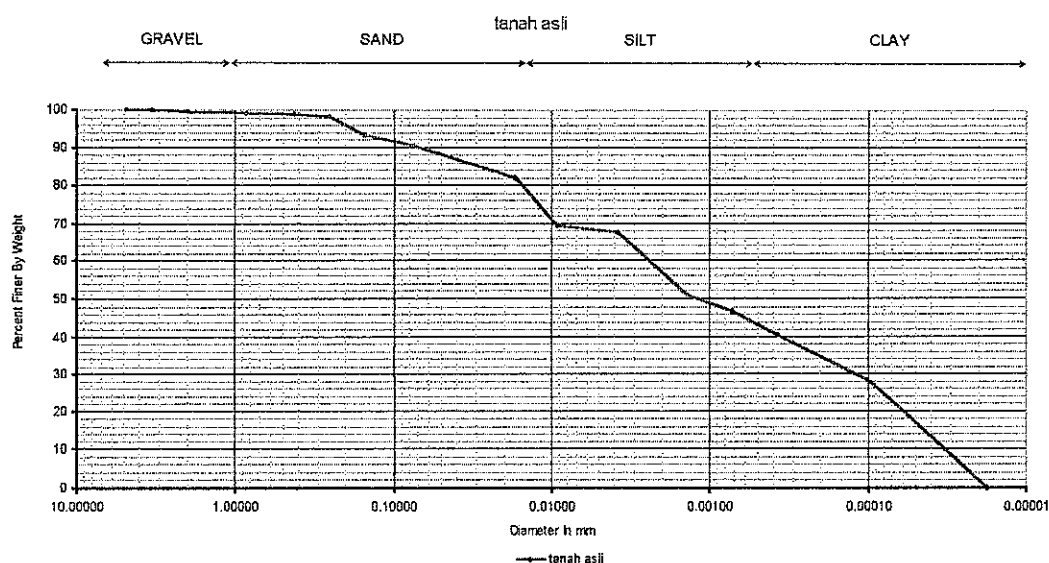
Hasil pengujian sifat fisik lempung Karangawen Demak dapat dilihat pada Tabel 4.4. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B.

Tabel 4.4. Data Fisik Lempung Karangawen Demak

No.	Deskripsi	Hasil
1.	Spesific Gravity, Gs	2,653
2.	Batas Cair, LL	71,90%
3.	Batas Plastis, PL	29,59%
4.	Index Plastisitas, IP	42,31%
5.	Shrinkage Limit, SL	12.72%
6.	Persen lolos saringan No. 200	90,5%
7.	Persen fraksi lempung (C)	40%

Berdasarkan hasil pengujian batas-batas Atterberg maka diperoleh harga batas cair sebesar 71,9%, maka lempung Karangawen Demak menurut klasifikasi USCS termasuk ke dalam CH (*Clay-High*) yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

Sedangkan untuk hasil uji hidrometer dan analisa saringan untuk tanah lempung Karangawen dapat dilihat pada Gambar 4.1. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D.



Gambar 4.1. Grafik Distribusi Hasil Uji Hidrometer dan Analisa Saringan

Dari grafik hasil uji hidrometer dan analisa saringan pada tanah lempung Karangawen Demak maka komposisi tanah lempung Karangawen Demak adalah 1% *gravel*, 21% *sand*, 38% *silt* dan 40% *clay*.

4.1.3. Identifikasi Sifat Ekspansif Lempung Karangawen Demak

a. Berdasarkan uji klasifikasi teknik

Dari hasil analisa distribusi ukuran butir diperoleh harga persen fraksi lempung ($< 2\mu\text{m}$), $C = 40\%$. Berdasarkan harga C dan nilai indeks plastisitas, $IP = 42,31\%$ dapat dihitung nilai aktifitas lempung dengan menggunakan persamaan yang diberikan oleh Skempton :

$$A = \frac{PI}{C - 10}$$

$$A = \frac{42.31}{40 - 10} = 1.41$$

Dengan harga $A > 1.25$, lempung Karangawen Demak dikategorikan sebagai lempung aktif dan bersifat ekspansif. Apabila dikelompokkan dengan tabel yang diberikan oleh Skempton maka lempung ini dikelompokkan sebagai Kalsium Montmorillonite yang mempunyai sifat mengembang lebih kecil dibanding dengan Natrium Montmorillonite.

b. Berdasarkan batas susut menurut Altmeyer

Dari harga batas susut, $SL = 12.72\%$ maka lempung Karangawen Demak ini menurut Altmeyer dikategorikan sebagai lempung dengan derajat pengembangan yang normal (*non critical*).

c. Berdasarkan nilai batas-batas Atterberg

Ada beberapa criteria yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi sifat ekspansif lempung berdasarkan nilai batas Atterberg, diantaranya :

1. Kriteria Seed (1962)

Berdasarkan criteria Seed (1962) menunjukkan bahwa lempung Karangawen Demak dengan persen fraksi lempung $C = 40\%$ dan Aktifitas, $A = 1,41$ digolongkan sebagai lempung yang mempunyai sifat mengembang tinggi.

2. Kriteria Chen (1988)

Dari hasil pengujian batas Atterberg diperoleh harga $PI = 42.31\%$ berdasarkan kriteria Chen maka lempung Karangawen Demak dapat digolongkan sebagai lempung yang mempunyai *swelling potential* sangat tinggi.

3. Kriteria Raman (1967)

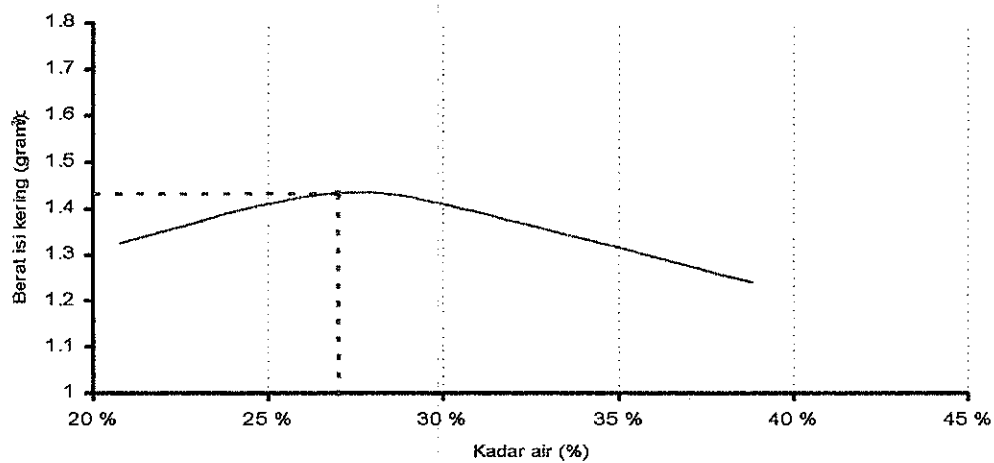
Apabila ditinjau dengan kriteria Raman, tanah lempung Karangawen Demak dengan harga $IP = 42.31$, dikategorikan sebagai lempung dengan derajat pengembangan sangat tinggi karena nilai IP lebih dari 30.

Dari hasil pembahasan diatas maka dapat disimpulkan bahwa lempung Karangawen Demak merupakan tanah lempung ekspansif dengan kemampuan mengembang yang cukup tinggi hal tersebut dapat dilihat dari nilai Plastic Indeks, $PI = 42.31 \%$ dan nilai Aktifitas, $A = 1,41$.

4.1.4 Sifat Mekanis Lempung Karangawen Demak

a. Hasil Uji Pemadatan

Kurva hasil pemadatan dengan Standart Proctor dapat dilihat pada Gambar 4.2.



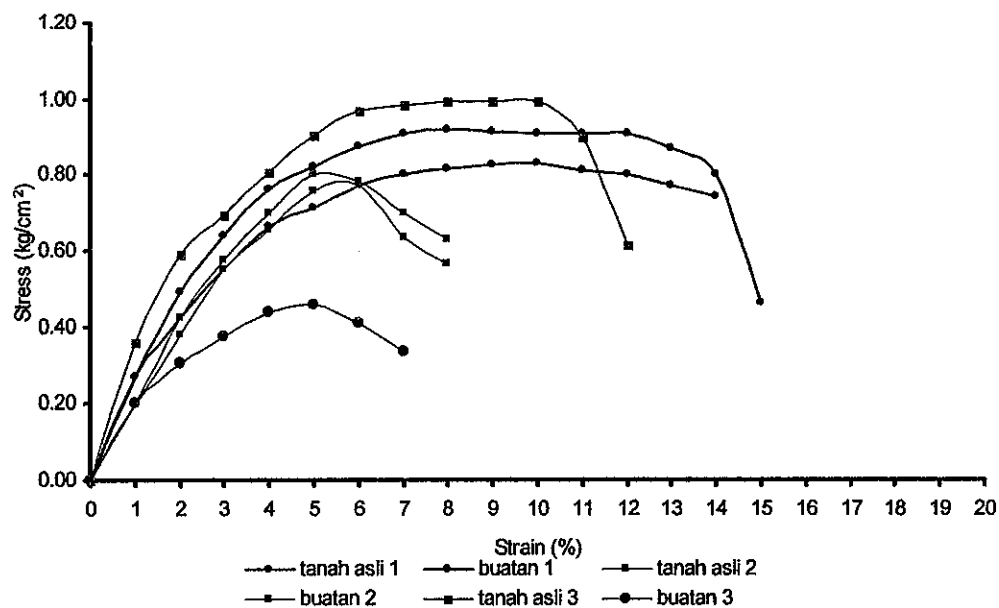
Gambar 4.2. Kurva Hasil Pemadatan Lempung Karangawen Demak

Dari uji pemadatan diperoleh hasil sebagai berikut :

- Kadar air optimum = 27 %
- Berat volume kering maksimum = 1,433 gram/cm

b. Hasil Uji Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan bebas pada tanah lempung Karangawen Demak dapat dilihat pada Gambar 4.3. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E.



Gambar 4.3. Grafik Nilai Kuat Tekan Bebas Lempung
Karangawen Demak

Hasil pengujian tekan bebas terhadap tanah Lempung Karangawen Demak dapat dilihat pada Tabel 4.5. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E.

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Pada
Tanah Lempung Karangawen

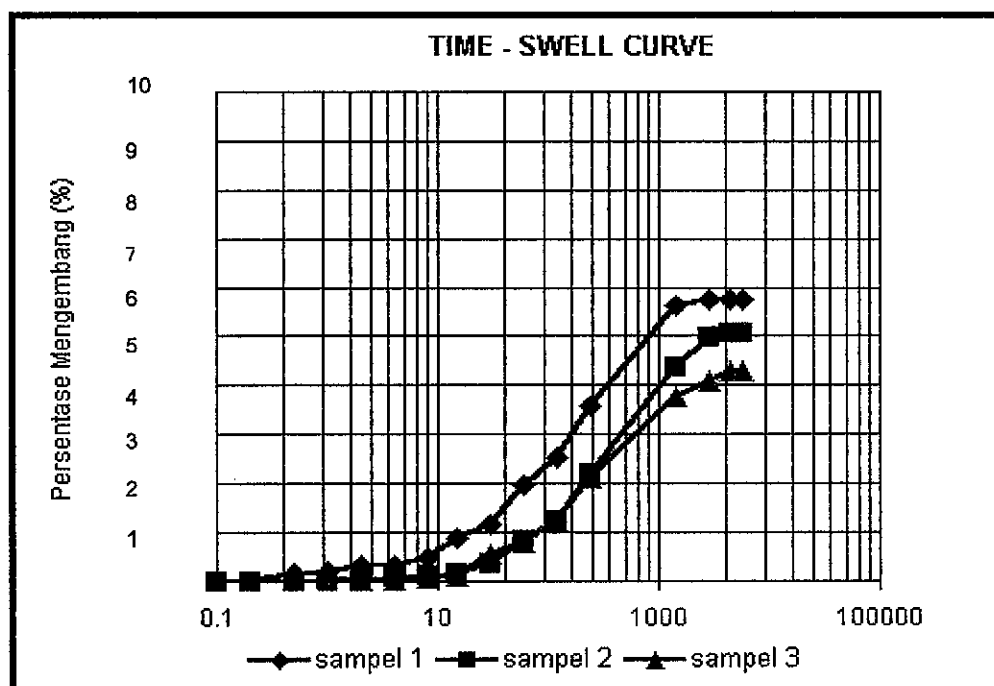
	Nilai Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)	
	Asli	Buatan
Sampel 1	0.925	0.829
Sampel 2	0.800	0.770
Sampel 3	0.995	0.457

Dari hasil uji kuat tekan pada 3 sampel tanah asli tersebut dapat dilihat bahwa pada sampel 1 dan sampel 2 didapat hasil nilai kuat tekan bebas yang hampir sama antara sampel asli dan

sampel buatan. Namun pada sampel 3 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan bebas antara sampel asli dan sampel buatan mempunyai selisih yang cukup banyak. Adanya perbedaan fenomena dari hasil ketiga sampel tanah asli tersebut mungkin karena adanya perbedaan kondisi pada saat pembuatan sampel dan pengujian kuat tekan bebas tersebut dilaksanakan.

c. Hasil uji potensi mengembang

Hasil pengujian potensi mengembang pada tanah lempung Karangawen Demak dapat dilihat pada Gambar 4.4. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran F.



Gambar 4.4. Grafik Potensi Mengembang Lempung Karangawen Demak

Dari hasil uji potensi mengembang pada tanah lempung Karangawen Demak didapat hasil *swelling potential* (potensi mengembang) dari tiga kali uji *swell potential* adalah sebesar

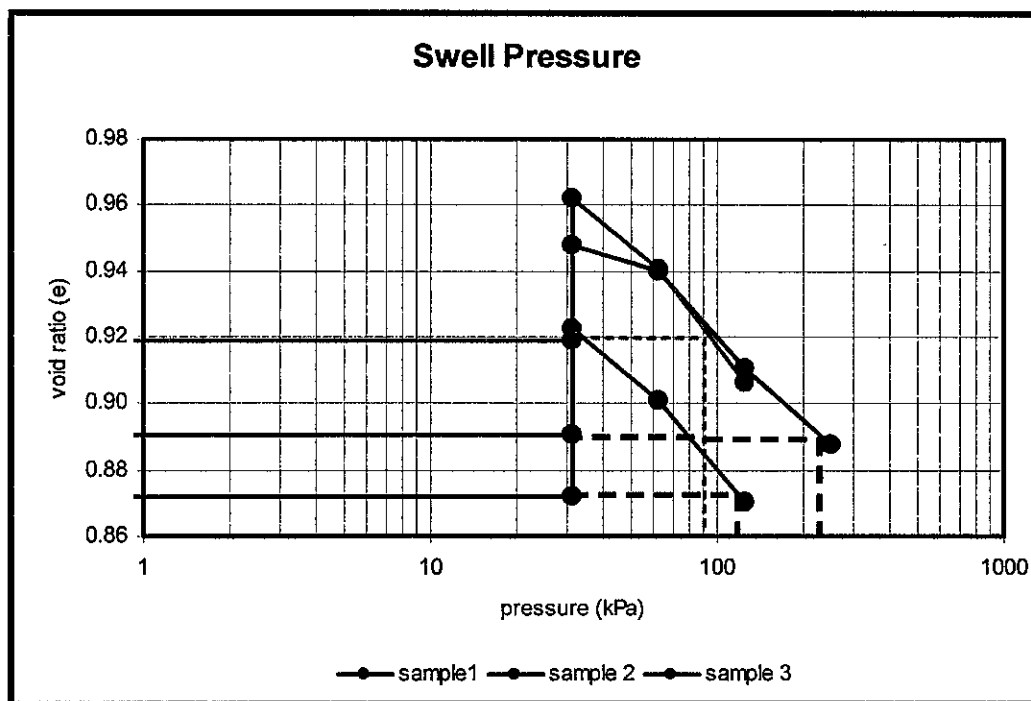
Tabel 4.6. Nilai Swell Potential, Kadar Air, Angka Pori dan Density Pada Tanah Asli

	Angka Pori	Density (kN/cu.m)	Kadar Air (%)		Selisih Kadar Air	Swell Potential (%)
			Sebelum Percobaan	Sesudah Percobaan		
Sample 1	0.89	1.4	27.5	45.37	17.87	5.74
Sample 2	0.87	1.42	27.3	35.87	8.87	5.07
Sample 3	0.92	1.38	27.7	36.84	8.74	4.31

Dari hasil uji *swell* tersebut dapat dilihat bahwa dengan semakin tinggi selisih nilai kadar air sebelum pengujian *swell potential* dengan nilai kadar air sesudah pengujian *swell potential* akan diikuti dengan kenaikan nilai *swell potential*. Selisih nilai kadar air sebelum dan sesudah pengujian *swell potential* tersebut mempengaruhi nilai *swell potential*, hal tersebut dimungkinkan karena semakin tinggi kemampuan tanah untuk menyerap air akan mengakibatkan *swell potential* meningkat.

d. Hasil uji tekanan mengembang

Hasil pengujian potensi mengembang pada tanah lempung Karangawen Demak dapat dilihat pada Gambar 4.5. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran F.



Gambar 4.5. Grafik Tekanan Mengembang Lempung Karangawen Demak

Dari hasil uji tekanan mengembang pada tanah lempung Karangawen Demak didapat hasil *swell pressure* (tekanan mengembang) dari tiga kali uji *swell pressure* adalah sebesar 240 kPa , 120 kPa dan 95 kPa. Hasil uji *swell pressure* pada tanah asli selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Nilai Swell Pressure, Kadar Air, Angka Pori dan Density Pada Tanah Asli

	Angka Pori	Density (kN/cu.m)	Kadar Air (%)	Swell Pressure (kPA)
Sample 1	0.89	1.4	45.37	240
Sample 2	0.87	1.42	35.87	120
Sample 3	0.92	1.38	36.84	95

Dari hasil uji *swell pressure* tersebut dapat dilihat bahwa pada nilai *swell pressure* yang didapat tidak konstan. . Hal tersebut disebabkan karena adanya perbedaan kondisi pada saat pembuatan sampel pengujian untuk *swell pressure* dan juga pada saat pengujian *swell pressure*.

4.2. Hasil Pengujian *Fly Ash*

Uji penentuan komposisi kimia didapat dari hasil pengujian dilakukan pada sample *fly ash* yang dikirim ke PLTU Suryalaya. Pengujian dilakukan di laboratorium PT Cwamas Citra Prakasa Jakarta. Adapun hasil uji komposisi kimia *fly ash* seperti yang tersaji pada Tabel 4.8. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel. 4.8. Hasil Uji Komposisi Kimia *Fly Ash*

No.	Komposisi	Satuan, %
1.	SiO ₂	43.92
2.	Al ₂ O ₃	24.87
3.	Fe ₂ O ₃	13.71
4.	TiO ₂	1.49
5.	CaO	5.53
6.	MgO	1.88
7.	Na ₂ O	0.21
8.	K ₂ O	0.77
9.	P ₂ O ₃	0.36
10.	SO ₃	0.97
11.	Mn ₃ O ₄	0.29

Dari Tabel 4.8. terlihat bahwa komponen utama dari fly ash terdiri dari Silika (SiO₂) sebesar 43.92% dan Alumunium Peroksida 24.87%. Karena itu maka fly ash dari PLTU Suryalaya, Merak ini

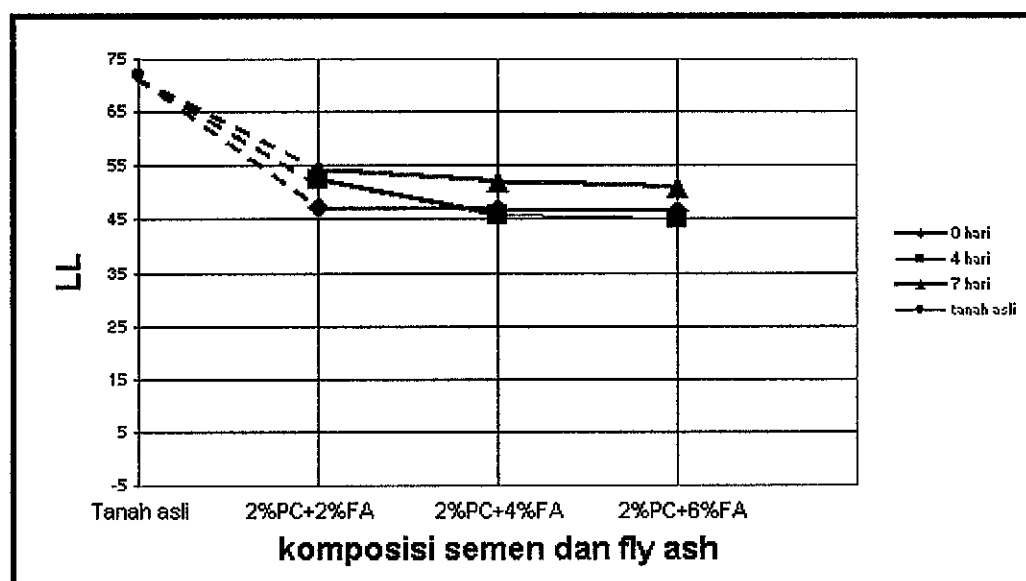
termasuk, kelas F karena memiliki kandungan CaO yang rendah. Oleh karena fly ash yang dipakai dalam penelitian ini termasuk ke dalam kelas F maka untuk mendapatkan sifat cementitious harus ditambah dengan semen dalam penggunaannya dalam penelitian stabilisasi tanah.

Sedangkan dari uji fisik *fly ash* didapat nilai *Specific Gravity*, G_s sebesar 2.176.

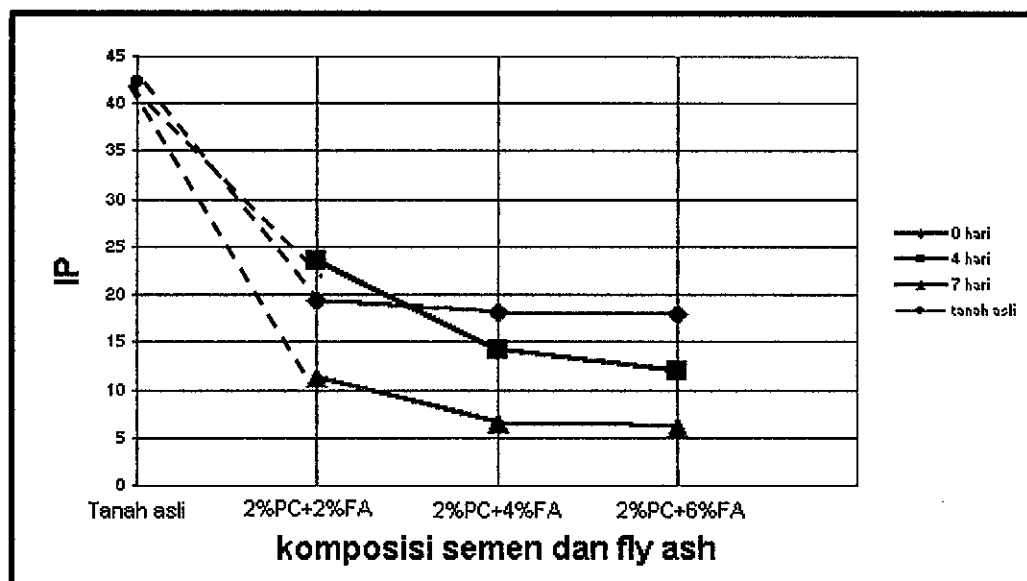
4.3. Pengaruh Semen dan *Fly Ash* Terhadap Sifat Fisik Lempung Karangawen Demak

4.3.1. Pengaruh Semen dan *Fly Ash* Terhadap Nilai Batas Atterberg

Pengaruh penambahan semen dan *fly ash* terhadap nilai batas Atterberg dengan variasi waktu pemeraman dapat dilihat pada Gambar 4.6. dan Gambar 4.7. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B.



Gambar 4.6. Grafik Hubungan Antara LL Dengan Variasi Komposisi PC dan FA Pada Waktu Pemeraman Yang Berbeda



Gambar 4.7. Grafik Hubungan Antara IP Dengan Variasi Komposisi PC dan FA Pada Waktu Pemeraman Yang Berbeda

Pada Gambar 4.6. dan Gambar 4.7. memperlihatkan bahwa kecenderungan peningkatan kadar semen dan *fly ash* pada masing-masing variasi waktu pemeraman akan diikuti dengan pengurangan harga batas cair dan indeks plastisitas. Perubahan indeks plastisitas pada tanah asli dibanding dengan tanah yang diberi penambahan semen dan *fly ash* mengalami penurunan nilai indeks plastisitas yang cukup tinggi. Semakin tinggi kadar semen dan *fly ash* dalam tanah semakin rendah indeks plastisitasnya hal tersebut dikarenakan semen dan *fly ash* yang dicampur dengan tanah akan menyebabkan tanah tidak bersifat plastis lagi.

Kecenderungan pengurangan harga *Plasticity Index* (PI) terjadi seiring dengan bertambahnya bahan additive dan waktu pemeraman. Sedangkan pada harga batas cair cenderung berkurang dengan penambahan bahan additive, tetapi cenderung bertambah dengan bertambahnya waktu pemeraman. Hal ini disebabkan karena adanya reaksi antara campuran semen dan fly ash dengan tanah asli yang mengandung kation sehingga dengan adanya pertukaran kation

tersebut akan menyebabkan terjadi penurunan nilai PI dan LL dibanding dengan nilai PI dan LL tanah asli. Hasil pengujian Atterberg dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Batas-Batas Atterberg
Pada Tanah Lempung Karangawen

Komposisi Semen Dan Fly Ash (%)	Batas-Batas Atterberg		
	LL	PL	PI
Tanah Asli	71.90	29.59	42.31
2%PC+2%FA, 0 hari	47.3	27.8	19.45
2%PC+4%FA, 0 hari	46.9	29.5	17.41
2%PC+6%FA, 0 hari	46.5	28.6	17.93
2%PC+2%FA, 4 hari	52.6	29.2	23.43
2%PC+4%FA, 4 hari	45.9	31.6	14.32
2%PC+6%FA, 4 hari	45.2	33.3	11.87
2%PC+2%FA, 7 hari	54.3	42.9	11.44
2%PC+4%FA, 7 hari	52.3	45.7	6.59
2%PC+6%FA, 7 hari	51.1	44.9	6.17

Persentase pengurangan harga batas cair dan indeks plastisitas terhadap tanah asli Karangawen Demak dapat dilihat pada Tabel 4.10, Tabel 4.11 , dan Tabel 4.12.

Tabel 4.10. Persentase Pengurangan LL dan PI Pada Waktu
Peram 0 hari

Kadar Semen dan <i>Fly Ash</i> (%)	Persentase Perubahan Terhadap Tanah Asli	
	LL (%)	PI (%)
Tanah Asli	71.9	42.31
2%PC+2%FA	(71.9-47.3)=-24.60	(42.31-19.45)=-22.86
2%PC+4%FA	(71.9-46.9)=-25.00	(42.31-18.21)=-24.10
2%PC+6%FA	(71.9-46.5)=-25.40	(42.31-17.93)=-24.38

Tabel 4.11. Persentase Pengurangan LL dan PI Pada Waktu
Peram 4 hari

Kadar Semen dan <i>Fly Ash</i> (%)	Persentase Perubahan Terhadap Tanah Asli	
	LL (%)	PI (%)
Tanah Asli	71.9	42.31
2%PC+2%FA	(71.9-52.6)=-19.30	(42.31-23.43)=-18.88
2%PC+4%FA	(71.9-45.9)=-26.00	(42.31-14.32)=-27.99
2%PC+6%FA	(71.9-45.2)=-26.70	(42.31-11.87)=-30.44

Tabel 4.12. Persentase Pengurangan LL dan PI Pada Waktu
Peram 7 hari

Kadar Semen dan <i>Fly Ash</i> (%)	Persentase Perubahan Terhadap Tanah Asli	
	LL (%)	PI (%)
Tanah asli	71.9	42.31
2%PC+2%FA	(71.9-54.3)=-17.6	(42.31-11.44)=-30.87
2%PC+4%FA	(71.9-52.3)=-19.6	(42.31-6.59)=-35.72
2%PC+6%FA	(71.9-51.1)=-20.8	(42.31-6.17)=-36.14

4.3.2. Pengaruh Semen dan *Fly Ash* Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas

Hasil uji kuat tekan untuk masing-masing komposisi semen dan *fly ash* dengan variasi waktu pemeraman dapat dilihat pada Tabel 4.13. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E.

Tabel 4.13. Nilai Kuat Tekan Bebas Tanah Campur
Semen dan *Fly Ash*

Komposisi PC dan <i>Fly Ash</i>	Qu (kg/cm ²)
Tanah Asli	0.907
2%PC+2%FA, peram 4 hari	3.625
2%PC+4%FA, peram 4 hari	4.469
2%PC+6%FA, peram 4 hari	4.667
2%PC+2%FA, peram 7 hari	4.538
2%PC+4%FA, peram 7 hari	4.754
2%PC+6%FA, peram 7 hari	5.164

Dari hasil uji UCS pada Tabel 4.14. terlihat bahwa nilai kuat tekan pada waktu pemeraman yang sama akan naik seiring dengan bertambahnya komposisi *fly ash*. Nilai uji UCS ini pada semua sampel mengalami kenaikan dibanding dengan uji UCS pada tanah asli lempung Karangawen Demak. Hal tersebut terjadi karena adanya proses sementasi atau peristiwa pengikatan antara butiran partikel yang berakibat pada peningkatan daya ikat massa tanah dan butiran tanah. Kondisi ini dimungkinkan menjadi penyebab terjadinya peningkatan nilai kuat geser tanah yang telah diberi campuran semen dan *fly ash*.

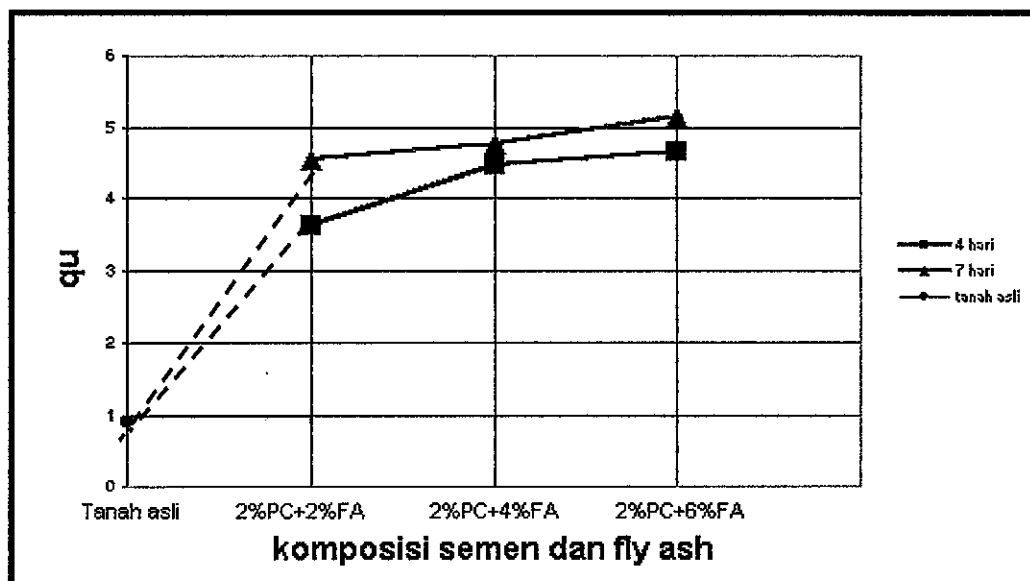
Untuk lebih mengetahui seberapa besar pengaruh yang diberikan oleh semen dan *fly ash* terhadap kuat tekan, maka

dihitung kenaikan nilai q_u terhadap tanah asli lempung Karangawen Demak seperti yang dilihat dalam Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Persentase Pengurangan Nilai Kuat Tekan Bebas

Komposisi PC dan <i>Fly Ash</i>	q_u (kg/cm ²)	
	4 hari	7 hari
Tanah Asli	0.907	
2%PC+2%FA	$(0.907-3.625)=-2.718$	$(0.907-4.538)=-3.631$
2%PC+4%FA	$(0.907-4.469)=-3.562$	$(0.907-4.754)=-3.847$
2%PC+6%FA	$(0.907-4.667)=-3.763$	$(0.907-5.164)=-4.257$

Perbandingan hasil uji kuat tekan bebas berdasarkan komposisi semen dan *fly ash* dengan hasil uji kuat tekan bebas berdasarkan variasi waktu pemeraman dapat dilihat Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik Hubungan Antara q_u Dengan Variasi Komposisi PC dan FA Pada Waktu Pemeraman Yang Berbeda

Pada semua sampel dengan komposisi semen dan fly ash yang berbeda-beda hasil yang tertinggi didapat pada pemeraman 7 hari.

Komposisi yang memberikan hasil q_u terbaik adalah 2% PC + 6% FA dengan waktu pemeraman 7 hari.

Sedangkan pada masing-masing waktu pemeraman hasil terbaik diperoleh pada komposisi 2% PC + 6% FA. Bertambahnya presentase *fly ash* pada tiap-tiap waktu pemeraman akan meningkatkan nilai kuat tekan tanah.

Peningkatan nilai kuat tekan bebas seiring dengan bertambahnya waktu pemeraman disebabkan oleh fase sementasi atau reaksi sekunder setelah tanah, semen dan *fly ash* melalui reaksi awal (penggumpalan dan pertukaran kation). Reaksi sekunder dari penambahan semen dan *fly ash* ke dalam tanah adalah untuk menyelesaikan hidrasi semen yang memerlukan waktu dan mempengaruhi perolehan kekuatan. Selain reaksi sekunder dari penambahan semen faktor yang mempengaruhi lainnya adalah karakteristik tanah aslinya seperti kandungan bahan organik, pengadukan tanah semen yang tidak seragam dan lain sebagainya.

4.3.3. Pengaruh Semen dan *Fly Ash* Terhadap Kemampuan Mengembang

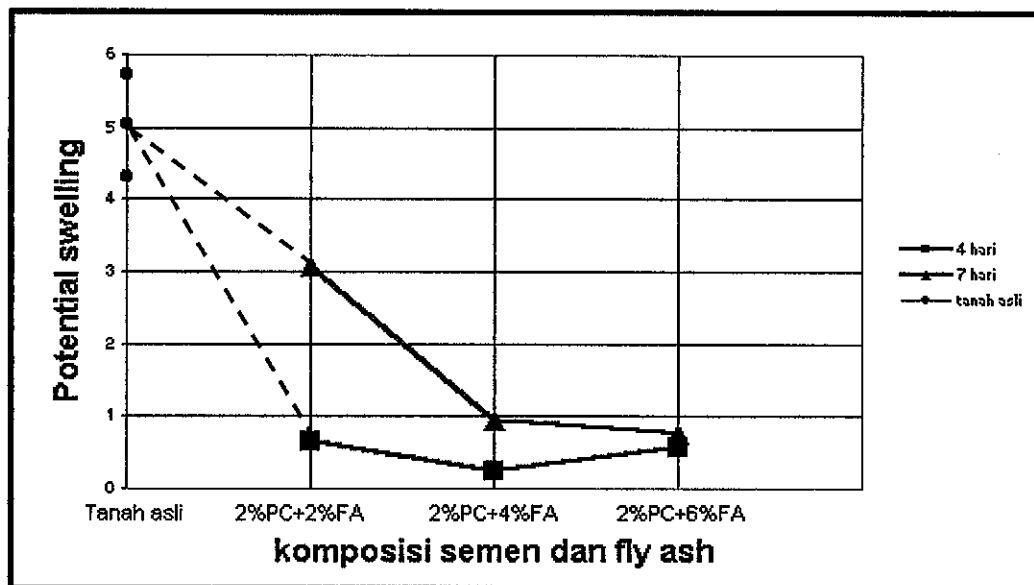
Pengaruh campuran semen dan *fly ash* pada kemampuan mengembang tanah lempung Karangawen dapat dilihat pada Tabel 4.15. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran F.

Tabel 4.15. Nilai Kemampuan Mengembang Tanah Campur
Semen dan *Fly Ash*

Komposisi PC dan <i>Fly Ash</i>	Swelling Potential (%)
Tanah Asli	5.74
Tanah Asli	5.07
Tanah Asli	4.31
2%PC+2%FA, peram 4 hari	0.66
2%PC+4%FA, peram 4 hari	0.25
2%PC+6%FA, peram 4 hari	0.58
2%PC+2%FA, peram 0 hari	3.09
2%PC+4%FA, peram 0 hari	0.96
2%PC+6%FA, peram 0 hari	0.76

Dari Tabel 4.15 dapat dilihat bahwa hampir setiap penambahan kadar semen dan *fly ash* pada setiap variasi waktu peram akan diikuti oleh penurunan nilai *swelling potential* dibanding dengan nilai *swell potential* tanah asli.

Perbandingan hasil uji kemampuan mengembang berdasarkan komposisi semen dan *fly ash* berdasarkan variasi waktu pemeraman dapat dilihat Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik Hubungan Antara Potential Swelling Dengan Variasi Komposisi PC dan FA Pada Waktu Pemeraman Yang Berbeda

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh yang diberikan oleh semen dan *fly ash* terhadap kemampuan mengembang, maka dihitung persentase penurunan nilai kemampuan mengembang untuk masing-masing waktu pemeraman terhadap nilai kemampuan mengembang tanah asli. Persentase penurunan harga kemampuan untuk penambahan kadar semen dan *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Persentase Pengurangan Nilai Kemampuan Mengembang

Komposisi PC dan <i>Fly Ash</i>	Swelling Potential (%)	
	4 hari	7 hari
Tanah Asli	5.04	
2%PC+2%FA	$(5.04-0.66)=$ -4.380	$(5.04-3.09)=$ -1.950
2%PC+4%FA	$(5.04-0.25)=$ -4.790	$(5.04-0.96)=$ -4.080
2%PC+6%FA	$(5.04-0.58)=$ -4.460	$(5.04-0.76)=$ -4.280

Untuk 2% PC + 4% FA pada waktu peram 4 hari memberikan pengurangan kemampuan terbesar dibanding dengan kemampuan mengembang tanah lempung asli Karangawen Demak. Adanya pengurangan nilai *potential swelling* disebabkan karena adanya proses agregasi pada tanah yang telah diberi campuran semen dan *fly ash* yang berakibat menurunkan *specific surface* butiran tanah. Hal ini akan menyebabkan turunnya nilai *potential swelling*. Hasil *potential swelling* dibanding dengan kadar air, angka pori dan density dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17. Nilai Swell Potential, Kadar Air, Angka Pori dan Density

Komposisi PC dan Fly Ash	Angka Pori	Density (kN/cu.n)	Kadar Air		Selisih Kadar Air	Swelling Potential (%)
			Sebelum Perc.	Sesudah Perc.		
Tanah Asli	0.89	1.4	27.5	45.37	17.87	5.74
Tanah Asli	0.87	1.42	27.3	35.87	8.87	5.07
Tanah Asli	0.82	1.38	28.1	36.84	9.14	4.31
2%PC + 2%FA, peram 4 hari	0.67	1.59	28.4	29.62	1.22	0.66
2%PC + 4%FA, peram 4 hari	0.73	1.53	27.2	32.91	5.71	0.25
2%PC + 6%FA, peram 4 hari	0.63	1.63	27.1	28.4	1.30	0.58
2%PC + 2%FA, peram 7 hari	0.65	1.61	28.5	29.53	1.03	3.09
2%PC + 4%FA, peram 7 hari	0.66	1.80	28.4	29.46	1.06	0.96
2%PC + 6%FA, peram 7 hari	0.57	1.69	27.1	28.19	1.09	0.76

Pada Tabel 4.17. dapat dilihat bahwa hasil pengujian kemampuan mengembang tanah asli sangat bervariasi nilainya namun dapat dilihat bahwa ada kecenderungan turunnya nilai kemampuan mengembang tanah yang telah diberi bahan additive dibanding dengan nilai kemampuan mengembang tanah asli. Dari hasil pengujian *swell potential* dapat dilihat bahwa dengan semakin tinggi selisih dari nilai kadar air sebelum pengujian *swell potential* dan nilai kadar air sesudah pengujian *swell potential* akan menyebabkan penurunan nilai *swell potential*. Hal tersebut dimungkinkan dengan semakin lamanya tanah dicampur dengan bahan stabilisasi yang dalam hal ini semen dan *fly ash* maka proses sementasi yang terjadi juga akan semakin besar. Dengan adanya hal tersebut maka akan dapat menurunkan nilai kembang susut tanah.

4.3.4. Pengaruh Semen dan Fly Ash Terhadap Tekanan Mengembang

Hasil uji tekanan mengembang untuk masing-masing komposisi semen dan *fly ash* dengan variasi waktu pemeraman dapat

dilihat pada tabel 4.18. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran F.

Tabel 4.18. Nilai Tekanan Mengembang Tanah Asli Campur Semen dan *Fly Ash*

<i>Komposisi PC dan Fly Ash</i>	Swell Pressure (kPA)
Tanah Asli	240
Tanah Asli	120
Tanah Asli	95
2%PC+2%FA, peram 4 hari	72
2%PC+4%FA, peram 4 hari	20
2%PC+6%FA, peram 4 hari	33
2%PC+2%FA, peram 7 hari	140
2%PC+4%FA, peram 7 hari	31
2%PC+6%FA, peram 7 hari	52

Dari Tabel 4.18. hasil pengujian tekanan mengembang tanah asli sangat bervariasi nilainya namun dapat dilihat bahwa ada kecenderungan turunnya nilai tekanan mengembang tanah yang telah diberi bahan additive dibanding dengan nilai tekanan mengembang tanah asli. Dapat juga dilihat bahwa hampir pada setiap penambahan kadar semen dan *fly ash* pada setiap variasi waktu peram akan diikuti oleh penurunan tekanan mengembang. Nilai tekanan mengembang terkecil didapat pada 2% PC + 4% FA dengan waktu peram 4 hari. Adanya penurunan nilai tekanan mengembang ini merupakan efek agregasi akibat penambahan semen dan *fly ash* dimana beberapa butiran tanah akan menjadi butiran yang lebih besar sehingga memperkecil *specific surface* yang mengurangi interaksi partikel tanah dengan air. Hasil pengujian *swell pressure*

dibanding dengan kadar air, angka pori dan *density* dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19. Nilai Swell Pressure, Kadar Air, Angka Pori dan Density

Komposisi PC dan Fly Ash	Angka Pori	Density (kN/cu.n)	Kadar Air	Swell Pressure (kPA)
Tanah Asli	0.89	1.4	45.37	240
Tanah Asli	0.87	1.42	35.87	120
Tanah Asli	0.82	1.38	36.84	95
2%PC + 2%FA, peram 4 hari	0.67	1.59	29.62	72
2%PC + 4%FA, peram 4 hari	0.73	1.53	32.91	20
2%PC + 6%FA, peram 4 hari	0.63	1.63	28.4	33
2%PC + 2%FA, peram 7 hari	0.65	1.61	29.53	140
2%PC + 4%FA, peram 7 hari	0.66	1.80	29.46	31
2%PC + 6%FA, peram 7 hari	0.57	1.69	28.19	52

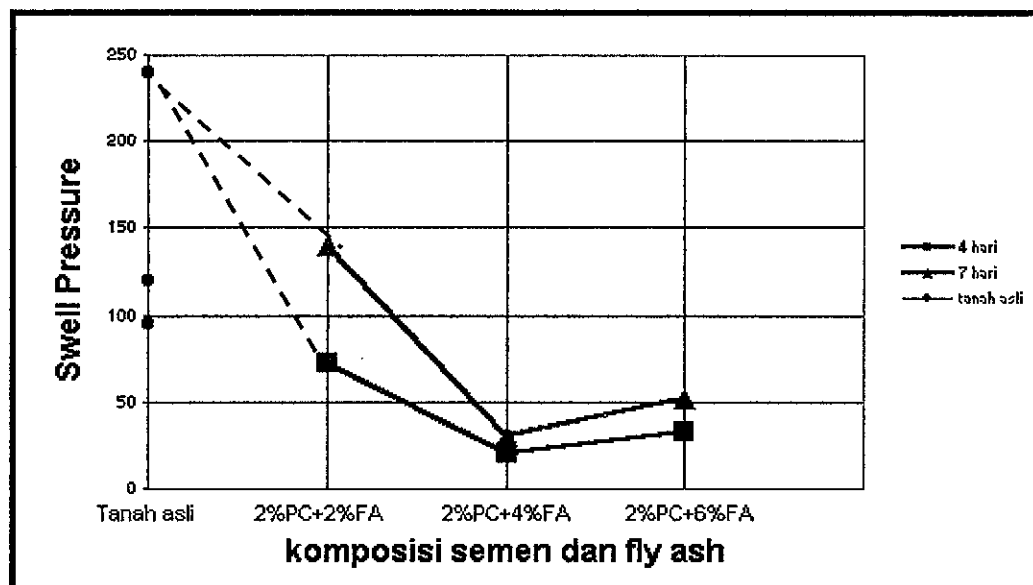
Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh yang diberikan oleh semen dan *fly ash* terhadap tekanan mengembang, maka dihitung persentase penurunan nilai tekanan mengembang untuk masing-masing variasi waktu pemeraman terhadap nilai tekanan mengembang tanah asli.

Persentase penurunan harga tekanan mengembang untuk penambahan kadar semen dan *fly ash* dengan variasi waktu pemeraman dapat dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4.20. Persentase Pengurangan Nilai Tekanan Mengembang

Komposisi PC dan <i>Fly Ash</i>	Swelling Potential (%)	
	4 hari	7 hari
Tanah Asli	240 ; 120 ; 95	
2%PC+2%FA	$(240-72)=$ -168	$(240-140)=$ -100
2%PC+4%FA	$(240-20)=$ -220	$(240-31)=$ -209
2%PC+6%FA	$(240-33)=$ -207	$(240-52)=$ -188

Perbandingan hasil uji tekanan mengembang berdasarkan komposisi semen dan *fly ash* berdasarkan variasi waktu pemeraman dapat dilihat Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Grafik Hubungan Antara Swell Pressure Dengan Variasi Komposisi PC dan FA Pada Waktu Pemeraman Yang Berbeda

4.3.5. Pengaruh Semen dan *Fly Ash* Terhadap Nilai Kohesi dan Sudut Geser

Dari uji Triaxial akan didapatkan nilai kohesi dan sudut geser pada tiap-tiap komposisi semen dan *fly ash* dengan variasi waktu pemeraman.

Pengujian triaxial ini dilakukan dengan dua metode yaitu:

1. Uji Triaxial UU

Hasil uji triaxial UU untuk masing-masing komposisi campuran semen dan *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan 4.22 dibawah ini. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran G.

Tabel 4.21. Nilai Kohesi Tanah Campur Semen dan *Fly Ash*

Komposisi PC dan <i>Fly Ash</i>	Kohesi (kPA)
Tanah Asli	96
2%PC+2%FA, peram 4 hari	194
2%PC+4%FA, peram 4 hari	167
2%PC+6%FA, peram 4 hari	203
2%PC+2%FA, peram 7 hari	222
2%PC+4%FA, peram 7 hari	189
2%PC+6%FA, peram 7 hari	262

Tabel 4.22. Nilai Sudut Geser Tanah Campur Semen dan *Fly Ash*

Komposisi PC dan <i>Fly Ash</i>	Sudut Geser (°)
Tanah Asli	14.2
2%PC+2%FA, peram 4 hari	29.1
2%PC+4%FA, peram 4 hari	34.1
2%PC+6%FA, peram 4 hari	28.6
2%PC+2%FA, peram 7 hari	28.3
2%PC+4%FA, peram 7 hari	37.2
2%PC+6%FA, peram 7 hari	18.7

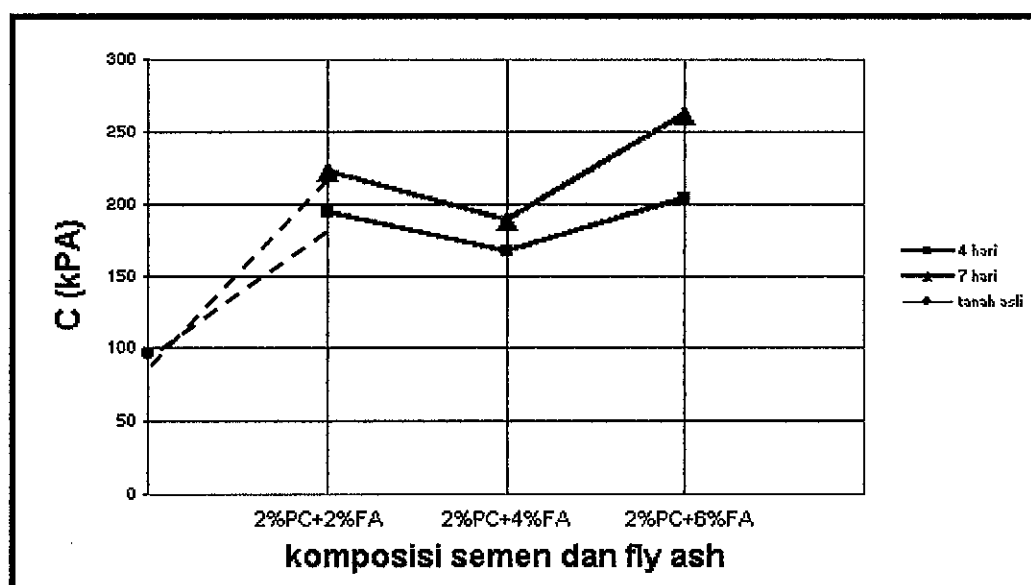
Dari hasil uji Triaxial UU pada Tabel 4.21 bahwa nilai kohesi terbesar terletak pada 2% PC + 6% FA dengan waktu peram 7 hari. Sedangkan pada Tabel 4.22 dapat dilihat bahwa sudut geser terbesar terdapat pada 2% PC + 4% FA dengan waktu peram 7 hari. Pada percobaan ini nilai kohesi tidak konstan dengan pertambahan semen dan *fly ash*, hal tersebut dimungkinkan karena pencampuran yang kurang homogen. Kecenderungan dari pengujian Triaxial UU ini adalah dengan naiknya kadar air maka nilai kohesi tanah akan semakin naik namun nilai sudut geser akan turun.

Seiring dengan bertambahnya waktu pemeraman maka nilai dari kohesi dan sudut geser akan menurun hal tersebut dikarenakan semakin lamanya waktu pencampuran antara semen dan fly ash sehingga hal tersebut akan mempengaruhi kekuatan geser tanah. Hasil pengujian Triaxial UU dibanding dengan kadar air, angka pori dan density dapat dilihat pada Tabel 4.23.

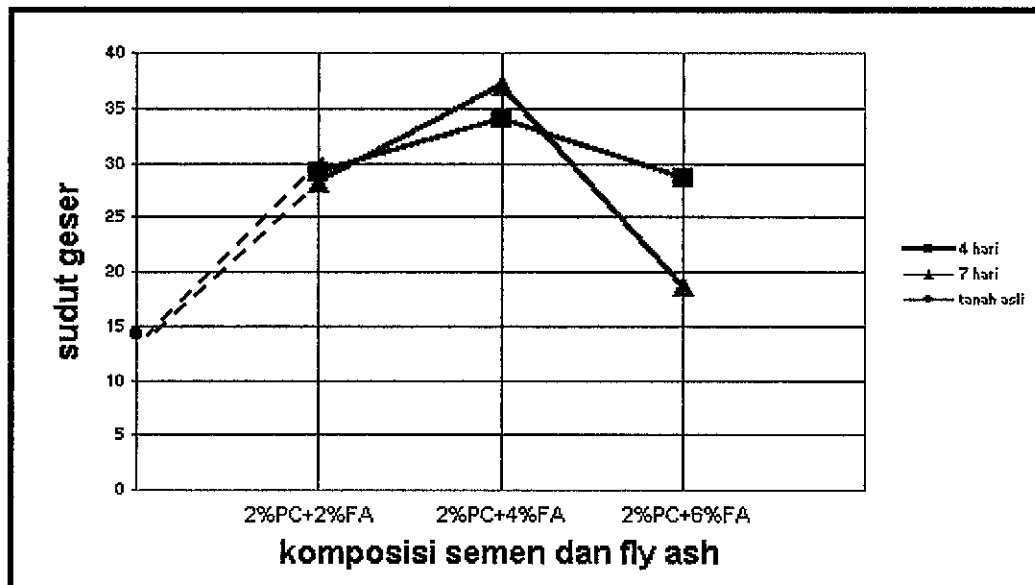
Tabel 4.23. Nilai Kohesi, Sudut Geser, Kadar Air, Angka Pori dan Density Pada Pengujian Triaxial UU

Komposisi PC dan Fly Ash	Kadar Air (%)	Angka Pori	Density kN/cu.m	Kohesi (kPa)	Sudut Geser (ϕ°)
Tanah Asli	38.1	1.016	12.9	96	14.2
2%PC + 2%FA, peram 4 hari	22.967	0.761	14.766	194	29.1
2%PC + 4%FA, peram 4 hari	23.608	0.778	14.6	167	34.1
2%PC + 6%FA, peram 4 hari	23.673	0.674	15.53	203	28.6
2%PC + 2%FA, peram 7 hari	20.433	0.674	15.53	222	28.3
2%PC + 4%FA, peram 7 hari	20.531	0.682	15.43	189	37.2
2%PC + 6%FA, peram 7 hari	23.542	0.774	14.63	262	18.7

Perbandingan nilai kohesi (C) dan sudut geser (ϕ) berdasarkan komposisi semen dan fly ash dengan hasil uji kuat bebas berdasarkan variasi waktu pemeraman dapat dilihat Gambar 4.11. dan Gambar 4.12.



Gambar 4.11. Grafik Hubungan Antara Kohesi Variasi Komposisi Variasi PC dan FA Pada Waktu Pemeraman Yang Berbeda



Gambar 4.12. Grafik Hubungan Antara Sudut Geser Dengan Waktu Pemeraman

2. Uji Triaxial CU

Hasil uji triaxial CU untuk masing-masing komposisi campuran semen dan *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 4.24 dan 4.25 dibawah ini. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran H.

Tabel 4.24. Nilai Kohesi Tanah Campur Semen dan *Fly Ash*

Komposisi PC dan <i>Fly Ash</i>	Kohesi (kPA)
Tanah Asli	35
2%PC+2%FA, peram 4 hari	93
2%PC+4%FA, peram 4 hari	15
2%PC+6%FA, peram 4 hari	68
2%PC+2%FA, peram 7 hari	74
2%PC+4%FA, peram 7 hari	115
2%PC+6%FA, peram 7 hari	61

Tabel 4.25. Nilai Sudut Geser Tanah Campur Semen dan *Fly Ash*

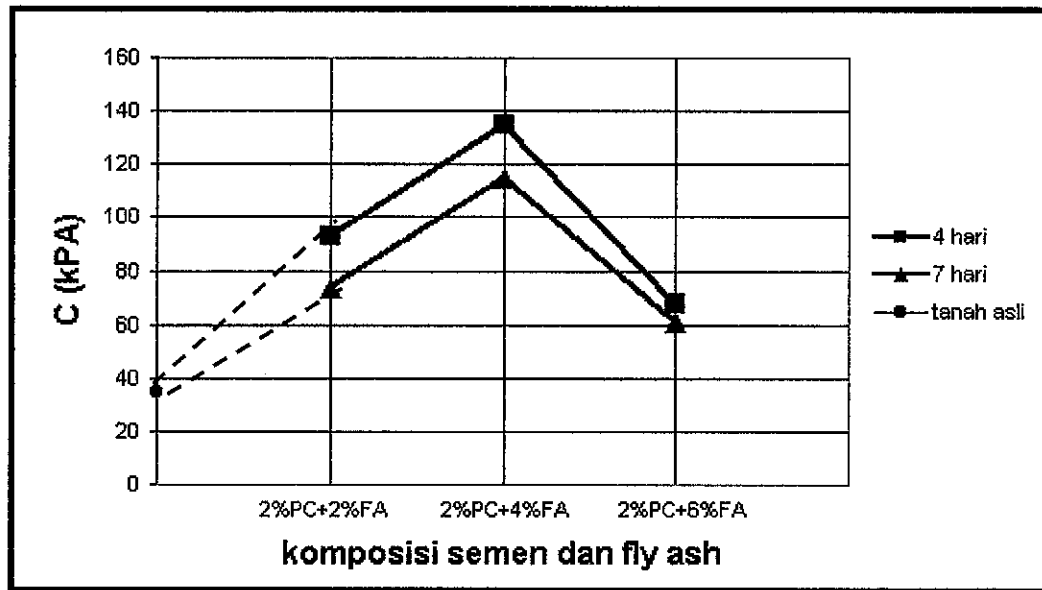
Komposisi PC dan <i>Fly Ash</i>	Sudut Geser (°)
Tanah Asli	16.9
2%PC+2%FA, peram 4 hari	31.1
2%PC+4%FA, peram 4 hari	26.3
2%PC+6%FA, peram 4 hari	32.9
2%PC+2%FA, peram 7 hari	33.2
2%PC+4%FA, peram 7 hari	27.2
2%PC+6%FA, peram 7 hari	34.1

Dari hasil uji Triaxial CU pada Tabel 4.24 bahwa nilai kohesi terbesar terletak pada 2% PC + 4% FA dengan waktu peram 4 hari. Sedangkan pada Tabel 4.25 dapat dilihat bahwa sudut geser terbesar terdapat pada 2% PC + 6% FA dengan waktu peram 7 hari. Hasil dari pengujian ini tidak konstan hasilnya kemungkinan hal tersebut dikarenakan pencampuran antara tanah asli dan bahan *stabilizing agents* yang tidak homogen. Namun terjadi kenaikan nilai kohesi dan sudut geser tanah dengan *stabilizing agents* dibanding tanah asli (natural). Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa semen dan fly dapat meningkatkan nilai kohesi dan sudut geser. Penurunan dari kadar air sebelum dan sesudah pengujian akan diikuti dengan penurunan nilai kohesi sedangkan nilai sudut geser akan mengalami kenaikan. Hasil pengujian Triaxial CU dibanding dengan kadar air, angka pori dan *density* dapat dilihat pada Tabel 4.26.

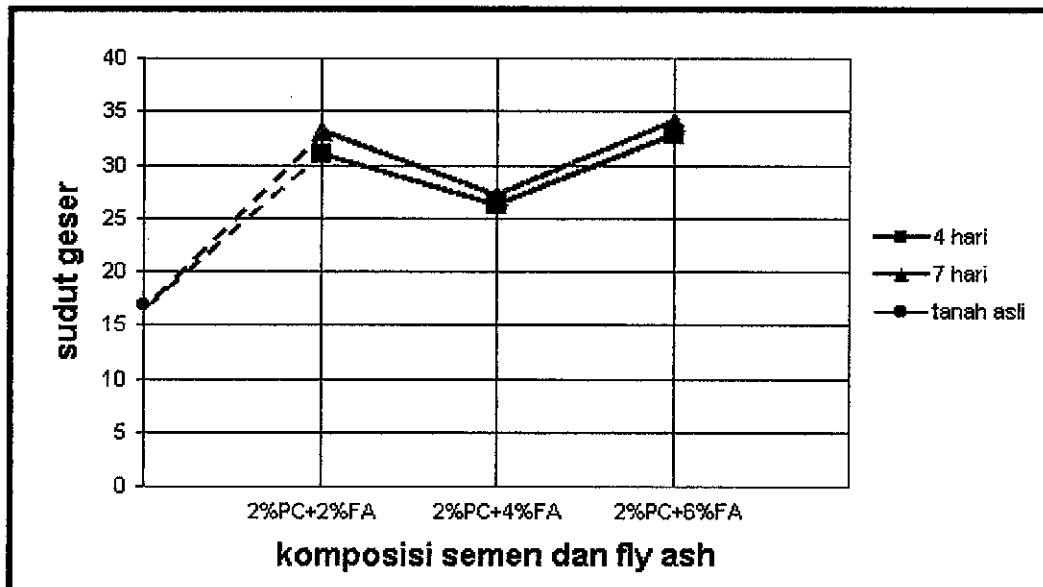
Tabel 4.26. Nilai Kohesi, Sudut Geser, Kadar Air, Angka Pori dan Density Pada Pengujian Triaxial CU

Komposisi PC dan Fly Ash	Angka Pori	Density (kN/cu.m)	Kadar Air (%)		Kohesi (kPA)	Sudut Geser (ϕ°)
			Sebelum Perc.	Sesudah Perc.		
Tanah Asli	0.870	13.9	33.148	32.384	35	16.9
2%PC + 2%FA, peram 4 hari	1.244	11.57	26.383	28.226	93	31.1
2%PC + 4%FA, peram 4 hari	1.472	10.53	29.991	30.652	135	26.3
2%PC + 6%FA, peram 4 hari	1.494	10.43	29.442	30.108	68	32.9
2%PC + 2%FA, peram 7 hari	1.337	11.13	26.167	28.247	74	33.2
2%PC + 4%FA, peram 7 hari	1.421	10.73	28.863	30.247	115	27.2
2%PC + 6%FA, peram 7 hari	1.418	10.77	28.729	29.672	61	34.1

Perbandingan nilai kohesi (C) dan sudut geser (ϕ°) berdasarkan komposisi semen dan fly ash dengan hasil uji kuat bebas berdasarkan variasi waktu pemeraman dapat dilihat Gambar 4.13. dan Gambar 4.14.



Gambar 4.13. Grafik Hubungan Antara Kohesi Dengan Variasi Komposisi PC dan FA Pada Waktu Pemeraman Yang Berbeda



Gambar 4.14. Grafik Hubungan Antara Sudut Geser Dengan Variasi Komposisi PC dan FA Pada Waktu Pemeraman Yang Berbeda

4.3.6. Pengaruh Semen dan *Fly Ash* Terhadap Distribusi Ukuran Butir

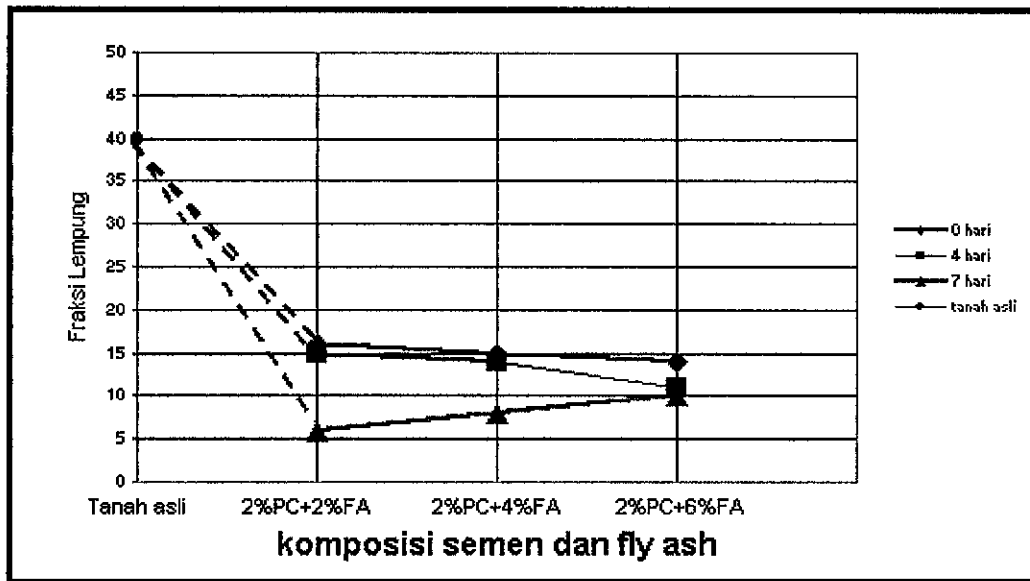
Pengaruh campuran semen dan *fly ash* pada distribusi ukuran butir tanah lempung Karangawen dapat dilihat pada Tabel 4.27. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D.

Tabel 4.27. Distribusi Ukuran Butir Tanah Asli Campur Semen dan *Fly Ash*

Komposisi PC dan <i>Fly Ash</i>	Persen Lempung (%)		
	0 hari	4 hari	7 hari
2%PC+2%FA	16	15	6
2%PC+4%FA	15	14	8
2%PC+6%FA	14	11	10

Dari tabel diatas maka dapat dilihat bahwa dengan semakin bertambahnya kadar fly ash akan menurunkan persentasi fraksi lempung dan akan menaikkan butiran kasar dalam tanah.

Perbandingan presentasi fraksi lempung berdasarkan komposisi semen dan fly ash dengan hasil uji kuat bebas berdasarkan variasi waktu pemeraman dapat dilihat Gambar 4.15.



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Antara Prosentasi Fraksi Lempung Dengan Variasi Komposisi PC dan Fly Ash Pada Waktu Pemeraman Yang Berbeda

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil percobaan-percobaan yang dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Contoh tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah lempung lunak dengan kandungan mineral yang dominan yaitu Halloysite dengan prosentase 39,52% dan Montmorillonite dengan prosentase 15 % yang merupakan lempung ekspansif yang mempunyai nilai kembang tinggi pada saat basah (kadar air tinggi).
2. Harga batas cair dan indeks plastisitas berkurang dengan bertambahnya kadar semen dan *fly ash*. Nilai optimum indeks plastisitas didapat pada 2% PC + 6% FA dengan waktu peram 7 hari.
3. Dibanding dengan nilai kuat tekan bebas tanah asli, semua komposisi campuran tanah asli dengan semen dan fly ash akan mengalami kenaikan nilai kuat tekan bebas. Nilai kuat tekan optimum didapat pada 2% PC + 6% FA dengan waktu peram 7 hari sebesar 5.164 kg/cm².
4. Penambahan kadar semen dan *fly ash* akan menurunkan kemampuan mengembang tanah dibanding dengan tanah aslinya. Kemampuan mengembang paling rendah didapat pada 2% PC + 4% FA dengan waktu peram 4 hari sebesar 0.25 %. Dari pengujian *swelling potential* dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi selisih dari nilai kadar air sebelum dan sesudah pengujian *swelling potential* akan menyebabkan menurunnya nilai *swell potential*.
5. Akibat penambahan kadar semen dan *fly ash*, maka nilai tekanan mengembang tanah akan menurun dibanding dengan tanah asli.

Nilai optimum tekanan mengembang tanah didapat pada 2% PC + 4% FA dengan waktu peram 4 hari sebesar 20 kPa.

6. Pada uji Triaxial baik UU dan CU dilaksanakan pada waktu peram 4 dan 7 hari. Dari uji Triaxial UU didapat nilai kohesi optimum pada campuran 2% PC + 6% FA dengan waktu peram 7 hari sebesar 262 kPa, sedangkan nilai sudut geser terkecil didapat pada campuran 2% PC + 6% FA dengan waktu peram 7 hari sebesar 18.7° . Dari uji Triaxial CU didapat nilai kohesi optimum pada campuran 2% PC + 4% FA dengan waktu peram 7 hari sebesar 61 kPa, sedangkan nilai sudut geser terkecil didapat pada campuran 2% PC + 4% FA dengan waktu peram 4 hari sebesar 26.3° .

5.2. Saran

1. Dalam penelitian ini komposisi yang direkomendasikan untuk dipergunakan adalah 2% PC + 6% FA dengan waktu pemeraman 7 hari. Karena komposisi ini mempunyai nilai Atterberg, kuat tekan dan triaxial yang paling baik. Walaupun pada uji potential swelling dan swell pressure komposisi ini bukan merupakan komposisi yang paling baik.
2. Pada penelitian ini pengujian Triaxial CU dan UU dilaksanakan dalam keadaan sample tanah saturated, sehingga hasil yang didapat tidak akurat untuk penggunaan di lapangan.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut penggunaan bahan additive lain untuk bahan stabilisasi pada lempung Karangawen-Demak, khususnya untuk meningkatkan kekuatan tanah.
4. Peninjauan terhadap parameter yang lain penanganan perilaku lempung seperti konsolidasi dan CBR.
5. Perlu adanya penelitian lebih lanjut pengaruh kadar *fly ash* dan usia pemeraman terhadap nilai kuat tekan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Altameyer, W.T, 1995, *Discussion of Engineering Properties of Ekspansive Clays*, Proc. Am. Soc. Civil Eng. 81 (Separate No. 658): pp 17-19.
2. ASTM, 1997, *Annual Book Of ASTM Standarts Volume 04.08 Soil and Rock*, Fist Edition.
3. ASTM, 1992, *ASTM Stabilization With Admixture*, American Society for Testing and Materials, Second Edition.
4. Berry, P.L, Reid, 1997, *An Introduction To Soil Mechanic*, Mc Graw-Hill Book Company.
5. Bowles, J. E, 1986, *Sifat-Sifat Fisik dan Geoteknis Tanah*, Penerbit Erlangga.
6. Chen, F.H, 1988, *Foundations on Expansive Soils*, American Elsevier Science Publ., New York.
7. Das, B.M., Noor, E. dan Mochtar, I.B., 1995, *Mekanika Tanah Jilid 1*, Penerbit Erlangga.
8. Das, B.M., Noor, E. dan Mochtar, I.B., 1983, *Mekanika Tanah Jilid 2*, Penerbit Erlangga.
9. Dani, H.J., 2001, *Studi Pengaruh Fly Ash Terhadap Sifat Mengembang Dan Kuat Tekan Bebas Pada Lempung Montmorillonite Karangnunggal Tasikmalaya*, Master's Thesis.
10. Davidson, L.K, Delmirel, T. and Handy, R.L., 1965, *Soil Pulverization and Lime Migration in Soil Lime Stabilization*, Highway Res. Rec, 92 : pp 104-106.
11. Davidson, W. H and Mullin, 1962, *Use of a Fly Ash an Road Construction in N.S.W*, Proc., ARRB Conf. 1 : pp 1085-1104.
12. Desiani, A., 1998, *Stabilisasi Lempung Lunak P. Rimau (SUMSEL) Menggunakan Semen Dan Bahan Kimia*, Master's Thesis, ITB.

13. Direktorat Jendral Bina Marga, 1976, Manual Pemeriksaan Bahan Jalan.
14. Grim, R.E., 1992, *Applied Clay Mineralogi*, Mc Graw Hill Book Company, New York.
15. Hardiyanti, S., 2003, *Studi Potensi Mengembang dan Kekuatan Tanah Lempung Ekspansif Dengan dan Tanpa Kapur Akibat Siklus Berulang Basah-Kering*, Master's Thesis UNDIP>
16. Hardiyatmo, H.C., 1992, *Mekanika Tanah*, Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
17. Hendarsin, S.L., 2000, *Perencanaan Teknik Jalan Raya*, Politeknik Negeri Bandung-Jurusan Teknik Sipil.
18. Hendarsin, S.L., 1994, *Penuntun Praktis Geoteknik Dan Mekanika Tanah*, Penerbit Nova.
19. Herzog, A, 1963, *A The Strength of Clay Cement*, Proc. 4th A.N.Z. SMFE. Conf: p 23.
20. Holtz, W.G., 1959, *Expansive Clays-Properties and Problems*, Quart. Colorado School Mines 54 : pp 89-117.
21. Holtz, W.G. and Gibbs, H.J., 1956, *Engineering Properties of Expansive Clay Transactions*, ASCE, Vol. 121 : pp 641-677.
22. Holtz, R.D. and Kovacs, W.D., 1981, *An Introduction To Geotechnical Engineering*, Prentice Hall Civil Engineering And Engineering Mechanic Series.
23. Ingles, O.G. and Metcalf, J.B., *Soil Stabilization Principles And Practise*, Butterwords.
24. Kerbs, R.D and Walker, R.D., 1971, *Highway Materials*, Mc Graw-Hill Inc, USA.
25. Kezdi, A., 1979, *Stabilized Earth Roads*, Elsevier Scientific Publizihiing Company, New York.
26. Lo, S. et al, 2003, *An Strength And Dilatancy of Silt Stabilized by Cement and Fly Ash Mixture*, Canadian Geotehcnical Journal Volum 39 : pp 77-89.

27. Mitchell, J.K., 1976, *Fundamentals of Soil Behavior*, John Wiley and Sons. Inc, New York.
28. Muljadi, S. dan Junica, M.I., 1997, *Kembang Susut Tanah Ekspansif Penyebab Kerusakan Jalan*, Majalah Konstruksi Edisi Juli 1997.
29. Rahardjo, P.P., 1997, *Masalah Tanah Ekspansif Dan Penanggulangannya*, Majalah Konstruksi Edisi Juli 1997.
30. Rakhan, Y.A., 2002, *Stabilisasi Tanah Gambut Rawa Pening dengan Semen dan Gypsum Sintesis ($CSO_4.2H_2O$)*, Master's Thesis UNDIP.
31. Raman, V., 1967, *Identification of Ekspansive Soils From The Plasticity Index and Shrinkage Index Data*, Indian Eng, Calcutta: pp 17-22.
32. Seed, H.B., Wood Ward, R.J. and Lundgren, R., 1962, *Prediction of Swelling Potential of Compacted Clays*, Highway res. Board Bull: pp12-39.
33. Sherwood, P.T., 1993, *Soil Stabilization With Cement and Lime*, HMSO Publications Centre.
34. Skemton, A.W., 1953, *The Colloidal Activity of Clays*, Proccedings, 3rd Internasional Conference of Soil Mechanic and Foundations Engineering London Vol. I: pp 57-61.
35. Wesley, D., 1972, *Mekanika Tanah*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
36. Yosua, 2000, *Stabilisasi Tanah Dari Barito Utara Dengan Semen Untuk Konstruksi Jalan*, Master's Thesis UNDIP.